



**SKRIPSI – SK141501**

**PENINGKATAN KINERJA MEMBRAN  
SELULOSA ASETAT DENGAN  
PENAMBAHAN POLIETILEN GLIKOL DAN  
SULFONASI UNTUK PEMISAHAN  
PEWARNA TEKSTIL *CONGO RED***

**TAQY THIANUGHRA FAHEZRA SAMPURNA  
NRP. 1411 100 061**

**Dosen pembimbing  
Nurul Widiastuti, M.Si, Ph.D  
Lukman Atmaja, Ph.D**

**JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015**



**SCRIPT – SK141501**

**IMPROVEMENT OF CELULOSE ACETATE  
MEMBRANE PERFORMANCE BY ADDING  
POLYETHYLENE GLYCOL AND  
SULFONATION FOR CONGO RED TEXTILE  
DYES REMOVAL**

**TAQY THIANUGHRA FAHEZRA SAMPURNA  
NRP. 1411 100 061**

**Advisor Lecturer  
Nurul Widiastuti, M.Si, Ph.D  
Lukman Atmaja, Ph.D**

**DEPARTMENT OF CHEMISTRY  
FACULTY OF MATHEMATICS AND SCIENCES  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2015**

**PENINGKATAN KINERJA MEMBRAN  
SELULOSA ASETAT DENGAN  
PENAMBAHAN POLIETILEN GLIKOL DAN  
SULFONASI UNTUK PEMISAHAN  
PEWARNA TEKSTIL *CONGO RED***

**SKRIPSI**

Disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan mata kuliah Skripsi  
program S-1

Di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

**TAQY THIANUGHRA FAHEZRA SAMPURNA  
NRP. 1411 100 061**

Dosen pembimbing  
Nurul Widiastuti, M.Si, Ph.D  
Lukman Atmaja, Ph.D

JURUSAN KIMIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015

**PENINGKATAN KINERJA MEMBRAN  
SELULOSA ASETAT DENGAN  
PENAMBAHAN POLIETILEN GLIKOL DAN  
SULFONASI UNTUK PEMISAHAN  
PEWARNA TEKSTIL CONGO RED**

**SKRIPSI**

Disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan mata kuliah Skripsi  
program S-1

Di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya


**TAQY THIANUGHRA FAHEZRA SAMPURNA**

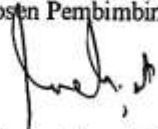
**NRP. 1411 100 061**

Surabaya, 22 Juni 2015

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

  
Nurul Widiastuti, M.Si, Ph.D  
NIP. 19710425199412 2 001

  
Lukman Atmaja, Ph.D  
NIP. 196108161989031 001



# **PENINGKATAN KINERJA MEMBRAN SELULOSA ASETAT DENGAN PENAMBAHAN POLIETILEN GLIKOL DAN SULFONASI UNTUK PEMISAHAN PEWARNA TEKSTIL *CONGO RED***

**Nama** : Taqy Thianughra Fahezra S.  
**NRP** : 1411100061  
**Jurusan** : Kimia FMIPA-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Nurul Widiastuti, M.Si., Ph.D  
Lukman Atmaja, Ph.D

## **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja membran ultrafiltrasi selulosa asetat (CA) dengan penambahan polietilen glikol (PEG) 400 dan sulfonasi. Membran dibuat dengan metode inversi fasa rendam endap. Membran yang dihasilkan dikarakterisasi dengan FTIR dan SEM, serta diuji fluks air dan rejeksinya terhadap pewarna merah Kongo pada tekanan 2 bar. Membran CA mencapai kondisi optimum pada konsentrasi CA sebesar 17,5% (b/b) dengan fluks air sebesar 13,57 L/m<sup>2</sup>jam dan rejeksi sebesar 91,08%. Penambahan PEG 400 sebanyak 2% (b/b) meningkatkan fluks air hingga 16,51 L/m<sup>2</sup>jam, sedangkan sulfonasi selama 120 menit meningkatkan rejeksi hingga 91,33%.

**Kata Kunci** : Selulosa asetat, PEG, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, merah Kongo, inversi fasa, porositas, fluks air, rejeksi

# **IMPROVEMENT OF CELULOSE ACETATE MEMBRANE PERFORMANCE BY ADDING POLYETHYLENE GLYCOL AND SULFONATION FOR CONGO RED TEXTILE DYES REMOVAL**

**Name** : Taqy Thianughra Fahezra S.  
**NRP** : 1411100061  
**Department** : Kimia FMIPA-ITS  
**Advisor Lecturer** : Nurul Widiastuti, M.Si., Ph.D  
Lukman Atmaja, Ph.D

## **Abstract**

The purpose of this research is to improve cellulose acetate (CA) ultrafiltration membrane performance by adding polyethylene glycol (PEG) 400 and sulfonation. Membranes were fabricated by immersion precipitation phase inversion method. Fabricated membranes were characterized with FTIR and SEM, while their pure water flux and rejection towards Congo red were tested at 2 bar. CA membrane achieved its optimum performance at 17,5% (w/w) of CA with pure water flux of 13,57 L/m<sup>2</sup>h and rejection of 91,08%. Addition of 2% (w/w) PEG 400 improved pure water flux to 16,51 L/m<sup>2</sup>h, meanwhile 120 minutes sulfonation improved rejection to 91,33%.

*Keywords :* Cellulose acetate, PEG, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Congo red, phase inversion, porosity, pure water flux, rejection.

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillahirobbil'alamin.* Puji syukur kehadiran Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik skripsi yang berjudul **“Peningkatan Kinerja Membran Selulosa Asetat dengan Penambahan Pilietilen Glikol dan sulfonasi untuk Pemisahan Pewarna Tekstil *Congo Red*”**. Untuk itu penulis sangat berterima kasih kepada:

1. Nurul Widiastuti, M.Si, Ph.D dan Lukman Atmaja, Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama proses penyusunan skripsi ini.
2. Hamzah Fansuri, M.si, Ph.D selaku Ketua Jurusan Kimia atas fasilitas yang telah diberikan.
3. Prof. Mardi Santoso, Ph.D selaku dosen wali.
4. Ibu dan Adik yang selalu memberi dukungan, doa, serta semangat yang tiada henti.
5. Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc selaku Ketua Laboratorium Energi atas fasilitas yang diberikan.
6. Pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan skripsi ini jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, 2015  
Penulis

## DAFTAR ISI

Abstrak .....	v
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
 BAB I PENDAHULUAN .....	 1
1.1. Pendahuluan .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Batasan Penelitian .....	5
1.4. Tujuan Penelitian.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	6
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI. 7	
2.1. Jenis dan Karakteristik Zat Warna .....	7
2.2. Zat Warna Golongan Azo.....	11
2.3. Teknik Pemisahan Zat Warna .....	13
2.3.1. Teknik Adsorpsi .....	15
2.3.2. Teknik Bioremediasi .....	16
2.3.3. Teknologi Membran .....	17
2.4. Parameter Kinerja Membran .....	19
2.4.1. Permeabilitas (Fluks Air) .....	19
2.4.2. Permselektivitas (Rejeksi).....	20
2.5. Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Membran ...	21
2.5.1. Porositas .....	21
2.5.2. Muatan Membran .....	22
2.5.3. Hidrofilisitas Membran .....	22
2.6. Inversi Fasa .....	22
2.7. Modifikasi Membran.....	24
2.7.1. Blending .....	25
2.7.2. Pelapisan Permukaan (Coating) .....	25
2.7.3. Grafting .....	26
2.8. Karakterisasi Membran .....	26



2.8.1. Fourier Transform Infra Red .....	26
2.8.2. Scanning Electron Microscope (SEM) .....	27
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>31</b>
3.1. Alat dan Bahan .....	31
3.2. Preparasi Larutan Cetak .....	31
3.3. Karakterisasi Membran .....	32
3.3.1. Analisis Scanning Electron Microscopy (SEM) .....	32
3.3.2. Analisis Fourier Transform Infra Red (FTIR) .....	33
3.4. Uji Kinerja Membran .....	33
3.4.1. Analisis Porositas .....	33
3.4.2. Analisis Fluks Air Murni .....	33
3.4.3. Analisis Rejeksi Congo Red .....	34
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
4.1. Pengaruh Variasi Konsentrasi Selulosa Asetat ....	35
4.2. Variasi Konsentrasi Polietilen Glikol (PEG) 400 ..	45
4.3. Variasi Perendaman dengan Asam Sulfat ( $H_2SO_4$ ) ..	56
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>63</b>
5.1. Kesimpulan .....	63
5.2. Saran .....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>65</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>71</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tabel klasifikasi zat warna .....	8
Tabel 2.2. Jenis zat warna dan aplikasinya.....	10
Tabel 2.3. Kandungan limbah zat warna .....	13
Tabel 2.4. Kelebihan dan kekurangan metode pemisahan zat warna .....	14
Tabel 2.5. Kinerja adsorpsi berbagai jenis adsorben .....	16
Tabel 2.6. Kinerja membran filtrasi.....	19

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1. Serbuk selulosa asetat.....	36
Gambar 4.2. Proses preparasi membran dengan metode inversi fasa .....	37
Gambar 4.3. Membran yang telah dicetak dan dicelup ..	38
Gambar 4.4 Spektra FTIR DMAc (a), serbuk selulosa asetat (b), dan membran selulosa asetat (c)....	39
Gambar 4.5. SEM morfologi tampang lintang membran selulosa asetat (a) 17,5% (b/b) (b) 20% (b/b)	40
Gambar 4.6. Pengaruh konsentrasi selulosa asetat terhadap porositas membran .....	41
Gambar 4.7. Hubungan antara konsentrasi selulosa asetat dengan fluks air .....	42
Gambar 4.8. Hubungan antara konsentrasi selulosa asetat dengan rejeksi membran .....	44
Gambar 4.9. Hubungan konsentrasi CA dengan fluks air dan rejeksi membran .....	45
Gambar 4.10. Hubungan konsentrasi CA dengan porositas, fluks air, dan rejeksi membran.....	45
Gambar 4.11. SEM morfologi tampang lintang membran selulosa asetat (a) 17,5% (b/b) dan (b) selulosa asetat/PEG 2% (b/b).....	47
Gambar 4.12. Spektra FTIR PEG (a), membran selulosa asetat (b) membran selulosa asetat/PEG (c)...	48
Gambar 4.13. Hubungan antara konsentrasi PEG 400 dengan porositas membran selulosa asetat dengan PEG .....	49
Gambar 4.14. Grafik hubungan antara konsentrasi PEG 400 dengan fluks air.....	51
Gambar 4.15. Grafik hubungan antara konsentrasi PEG 400 dengan rejeksi merah Kongo.....	53
Gambar 4.16. Hubungan konsentrasi PEGdengan fluks air dan rejeksi membran .....	55
Gambar 4.17. Hubungan konsentrasi PEG dengan porositas, fluks air, dan rejeksi membran.....	56

Gambar 4.18. Spektra FTIR membran CA/PEG (a) CA/PEG-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (b) .....	58
Gambar 4.19. Hubungan antara waktu perendaman H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> dengan fluks air .....	59
Gambar 4.20. Hasil SEM tampang lintang membran CA/PEG 2% (a) dan CA/PEG 2% dengan perendaman H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 120 menit (b) .....	60
Gambar 4.21. Grafik hubungan antara waktu perendaman H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> dengan rejeksi merah Kongo.....	61
Gambar 4.22. Hubungan waktu perendaman dengan fluks air dan rejeksi membran .....	62

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Pendahuluan**

Industri tekstil umumnya menghasilkan limbah zat warna yang dihasilkan dari proses pewarnaan, percetakan, dan proses pewarnaan lainnya. Kenyataannya limbah ini mengandung banyak bahan kimia berbahaya seperti zat warna, deterjen, pelarut, logam berat, dan bahan berbahaya lainnya. Akibatnya air limbah zat warna tidak bisa langsung dibuang ke badan air karena bahaya yang ditimbulkan seperti pencemaran lingkungan, gangguan pada ekosistem, gangguan pada biota air, hingga sifat-sifat karsinogenik yang mungkin timbul pada manusia.

Banyak industri tekstil menggunakan air bersih dalam jumlah yang sangat besar untuk menurunkan kadar polutan yang dihasilkan. Metode semacam ini cukup merugikan dari sisi biaya dan efisiensinya. Untuk menangani permasalahan tersebut, diperlukan metode pengolahan limbah yang dapat menghemat air, sehingga air yang telah diolah dapat digunakan kembali (Ismail, 2009).

Salah satu dari metode pengolahan limbah yang sering digunakan adalah ultrafiltrasi. Metode ini dapat menghemat penggunaan air dan bahan kimia lain yang masih dapat digunakan kembali. Air limbah hasil olahan menggunakan membran ultrafiltrasi ini lebih bersih jika dibandingkan dengan metode lainnya. Ultrafiltrasi adalah membran pemisah yang memiliki rentang antara nanofiltrasi dan mikrofiltrasi (Mansourpanah, dkk., 2010). Oleh sebab itu, membran ultrafiltrasi memiliki beberapa keunggulan seperti

tekanan operasional yang relatif rendah, fluks yang lebih tinggi, dan biaya operasional serta perawatan yang cukup rendah (Tang, dkk., 2008).

Penelitian terkait kinerja membran ultrafiltrasi untuk aplikasi pengolahan limbah zat warna telah banyak dilakukan. Pengaruh kondisi operasional membran ultrafiltrasi terhadap kinerja membran juga telah banyak dipelajari. Hasilnya menunjukkan bahwa membran ultrafiltrasi sangat sesuai digunakan untuk pengolahan limbah zat warna dengan hasil yang memuaskan seperti yang telah disampaikan oleh Akbari (2002). Akan tetapi untuk menjaga kinerja membran agar tetap baik dengan biaya yang relatif rendah, diperlukan adanya perlakuan awal pada air limbah sebelum diolah menggunakan membran ultrafiltrasi untuk menghindari terjadinya penyumbatan dan kerusakan pada modul membran (Ashik, 2012).

Berbagai penelitian terkait upaya peningkatan kinerja membran ultrafiltrasi telah banyak dilakukan. Salah satunya dilaporkan oleh Alcaina-Miranda (2009) yang meneliti pengaruh perlakuan awal terhadap efluen zat warna sebelum dilewatkan ke membran ultrafiltrasi. Hasilnya cukup positif dengan dicapainya persen rejeksi hingga 71% dan terjadi penurunan turbiditas, intensitas zat warna, dan *chemical oxygen demand* (COD) yang cukup tinggi. Modifikasi pada membran ultrafiltrasi untuk mengurangi kemungkinan penyumbatan pada membran juga telah dilakukan dengan berbagai cara. Salah satunya dengan cara *UV-photografting* menggunakan monomer natrium p-stiren sulfonat pada membran polisulfon. Hasilnya menunjukkan terjadinya peningkatan sifat anti penyumbatan jika

dibandingkan dengan membran komersial. Membran tersebut menunjukkan persen rejeksi zat warna mencapai 97% pada tekanan 0,4 MPa dengan fluks sebesar 0,23-0,28 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>hari (Akbari dkk., 2002).

Penelitian tersebut kemudian dilanjutkan kembali dengan meningkatkan *molecular weight cut-off* (MWCO) dari membran polisulfon dengan *UV-photografting*, sehingga fluksnya dapat meningkat sebesar dua kali lipat dari 0,23-0,28 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>hari menjadi 0,48-0,56 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>hari (Akbari dkk., 2006). Selain kedua metode sebelumnya, ada metode lain yang telah dikembangkan untuk meningkatkan kinerja membran ultrafiltrasi. Seperti yang dilakukan oleh Ashik (2012) dengan menambahkan lapisan komposit tipis pada permukaan membran melalui polimerisasi antarmuka. Perlakuan ini menunjukkan adanya peningkatan persen rejeksi zat warna dan garam serta peningkatan fluks membran yang cukup signifikan. Pada penelitian lain yang dilaporkan oleh Qin (2003) mempelajari pengaruh pencampuran Polivinil Prolidon (PVP) pada membran selulosa asetat. Hasilnya menunjukkan perubahan fluks yang cukup tinggi hingga mencapai 22 L/m<sup>2</sup>jam. Akan tetapi membran yang telah dicampur dengan PVP memiliki rejeksi yang rendah dan mudah terjadi penyumbatan. Kim (1998) meneliti pengaruh penambahan aditif PEG terhadap kinerja membran Polisulfon (PSf). Hasil menunjukkan bahwa, dengan meningkatnya konsentrasi PEG yang ditambahkan, semakin banyak makrovoid yang terbentuk. Hal ini menunjukkan bahwa, selulosa asetat berpotensi digunakan sebagai bahan utama membran ultrafiltrasi. Akan tetapi, rejeksi dan fluks membran selulosa asetat masih relatif rendah, sehingga diperlukan beberapa

modifikasi untuk meningkatkan fluks dan rejeksi terhadap zat warna.

Metode yang telah dijabarkan sebelumnya memiliki satu kekurangan yang serupa, yaitu preparasi membran ultrafiltrasi yang cukup rumit dan biaya produksi yang tinggi. Oleh sebab itu, pada penelitian ini diusulkan penggunaan metode peningkatan kinerja membran yang sederhana dengan biaya yang relatif rendah. Pada penelitian ini dilakukan upaya peningkatan kinerja membran melalui peningkatan jumlah makrovoid, pembentukan pori, peningkatan porositas, peningkatan sifat antipenyumbatan, dan rejeksi terhadap zat warna pada membran polimer rapat selulosa asetat (SA) dengan menggunakan polietilen glikol (PEG) sebagai agen pembentuk pori, dan  $H_2SO_4$  untuk memperbaiki sifat permukaan membran. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan porositas, dan memberikan muatan negatif pada membran sehingga diharapkan dapat diperoleh tiga keuntungan yaitu, peningkatan fluks, penurunan kemungkinan penyumbatan, dan membran yang dihasilkan dapat digunakan untuk berbagai limbah zat warna anionik dengan rejeksi yang cukup tinggi. Membran ultrafiltrasi modifikasi yang dihasilkan kemudian diuji menggunakan instrument pengujian fluks dan rejeksi, setelah sebelumnya dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Fourier Transform Infra Red* terlebih dahulu.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan penelitian sebelumnya diketahui bahwa membran selulosa asetat adalah membran ultrafiltrasi yang berpotensi untuk digunakan dalam



pemisahan zat warna dari limbah tekstil seperti merah Kongo. Namun, umumnya membran yang menunjukkan rejeksi yang tinggi memiliki fluks yang rendah. Upaya peningkatan kinerja membran untuk meningkatkan fluks tanpa menurunkan rejeksi perlu diteliti. PEG adalah salah satu agen pembentuk pori yang cukup baik dengan harga yang relatif murah. Penambahan PEG dalam larutan cetak akan mempengaruhi jumlah dan ukuran makrovoid membran, porositas, dan fluks air pada membran yang dihasilkan. Sedangkan  $H_2SO_4$  mempengaruhi muatan membran. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan upaya peningkatan kinerja membran selulosa asetat dengan penambahan PEG dan perendaman dalam  $H_2SO_4$  untuk meningkatkan jumlah dan ukuran makrovoid, porositas, fluks, dan rejeksi membran.

### **1.3. Batasan Penelitian**

Batasan penelitian ini yaitu :

1. Membran ultrafiltrasi dari bahan utama selulosa asetat dengan pelarut dimetil asetat (DMAc) dipreparasi dengan metode inversi fasa.
2. Peningkatan kinerja membran selulosa asetat dilakukan dengan meningkatkan jumlah dan ukuran makrovoid dengan penambahan PEG yang divariasikan pada 1%, 2%, 2,5%, dan 3% (b/b) untuk meningkatkan porositas dan fluks.
3. Untuk meningkatkan rejeksi, membran selulosa asetat/PEG dilakukan perendaman dalam  $H_2SO_4$  untuk menambahkan muatan pada permukaan membran. Variasi waktu perendaman dilakukan pada 30,60, 90, 120 menit.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja membran selulosa asetat dengan menambahkan polietilen glikol (PEG) dan perendaman dalam  $H_2SO_4$ . Penambahan PEG bertujuan untuk memperbaiki ukuran dan meningkatkan jumlah makrovoid, sehingga porositas dan fluks membran meningkat. Perendaman  $H_2SO_4$  bertujuan untuk memberikan muatan pada membran sesuai dengan zat warna merah Kongo, sehingga rejeksi membran meningkat.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Modifikasi pada membran ultrafiltrasi selulosa asetat diharapkan dapat menghasilkan membran dengan biaya relatif rendah, namun berkinerja tinggi untuk aplikasi pengolahan limbah zat warna.

## **BAB II**

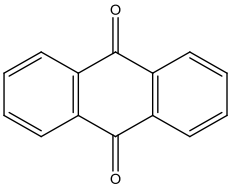
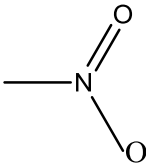
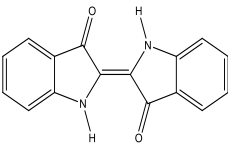
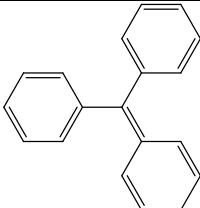
### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1. Jenis dan Karakteristik Zat Warna**

Zat warna adalah senyawa yang dapat terikat pada suatu permukaan atau serat. Hal ini dapat menimbulkan warna pada permukaan atau serat yang berikatan dengan zat warna tersebut. Warna yang dihasilkan oleh zat warna tersebut berasal dari senyawa organik kompleks yang umumnya tahan terhadap berbagai kondisi yang cukup keras, seperti deterjen dan lain sebagainya. Berdasarkan sumbernya, zat warna dibedakan menjadi organik dan sintetik, zat warna organik berasal dari bahan-bahan alami seperti tomat, kunyit, dan lain-lain. Sedangkan zat warna sintetik adalah zat warna yang dibuat oleh manusia dengan menggunakan bahan-bahan sintesis (Yagub, dkk. , 2014). Zat warna sintetik telah diaplikasikan pada berbagai bidang seperti industri tekstil, kertas, penyamakan kulit, pangan, plastik, kosmetik, karet, percetakan, dan industri (Dawood, dkk., 2014).

Selain berdasarkan sumbernya, zat warna dapat pula diklasifikasikan berdasarkan struktur, warna, metode aplikasi, dan muatan partikel ketika terlarut dalam air. Klasifikasi zat warna berdasarkan struktur kimianya dibagi menjadi golongan azo, anthraquinone, indigoid, nitroso, nitro, dan triarylmethane. Klasifikasi secara rinci tersaji pada Tabel 2.1. Klasifikasi zat warna berdasarkan struktur kimia ini lebih diminati karena lebih sistematis dan lebih mudah untuk menjelaskan sifat-sifat kimianya berdasarkan struktur kimia dari zat warna (Hunger, 2003).

Tabel 2.1. Tabel klasifikasi zat warna

Jenis	Gugus Kromofor	Jenis	Gugus Kromofor
Azo	$\text{—N=N—}$	Nitroso	$\text{—N=O}$
Anthra-quinone		Nitro	
Indigoid		Triaryl-methane	

(Hunger, 2003)

Zat warna golongan azo dikelompokkan berdasarkan adanya ikatan rangkap antar nitrogen ( $\text{—N=N—}$ ). Zat warna jenis ini merupakan zat warna yang paling banyak diproduksi dan digunakan pada berbagai industri (70%) terutama tekstil dan kertas (Ertugay & Acar, 2013). Sekitar 80% dari zat warna yang reaktif berasal dari golongan ini (Su, dkk., 2011).

Zat warna golongan anthraquinone adalah yang terbanyak setelah golongan azo (15%). Golongan ini dapat diidentifikasi dengan adanya gugus yang mengandung ikatan  $\text{=C=O}$  dan  $\text{=C=C=}$  dalam suatu struktur aromatik gabungan. Hal ini pula yang menjadi alasan utama golongan ini sulit terdegradasi (Shrinivasan & Viraraghavan, 2010).

Berdasarkan muatan yang dihasilkan ketika dilarutkan dalam air, zat warna diklasifikasikan sebagai kationik (zat

warna basa), anionik (zat warna langsung, asam, dan reaktif), dan non-ionik (zat warna terlarut) (Abdelkader, dkk., 2011). Muatan negatif yang dihasilkan umumnya berasal dari gugus sulfon ( $\text{SO}_3^-$ ), sedangkan muatan positif umumnya disebabkan oleh protonasi pada gugus amina atau gugus fungsi yang mengandung sulfur (S) (Errais, dkk., 2011).

Zat warna asam adalah zat warna anionik yang memiliki gugus asam seperti  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{SO}_3\text{H}$ , atau gugus fenolat organik dan dapat terlarut dalam air. Zat warna ini dapat berikatan dengan gugus-gugus yang bersifat sedikit basa seperti gugus  $-\text{NH}$  dalam ikatan peptida pada permukaan bahan atau serat yang diwarnai (wol, sutra, dan nilon). Akan tetapi zat warna ini tidak dapat diaplikasikan pada golongan-golongan polyester, polimer kationik, dan selulosa. Hal tersebut dikarenakan ikatan ionik tidak dapat terbentuk diantara zat warna dan bahan. (Mariam, 2015).

Sedangkan zat warna basa adalah zat warna kationik yang memiliki gugus basa seperti amino dan turunannya yang menyebabkan zat warna ini dapat berikatan dengan polimer atau serat yang bermuatan negatif seperti wol dan sutra yang mengandung gugus karboksilat ( $-\text{COO}^-$ ). Sama halnya dengan zat warna asam, pengaplikasian warna pada bahan harus disesuaikan dengan jenis zat warna dan bahan yang akan diwarnai. Dengan demikian dapat terbentuk ikatan ionik antara zat warna dan bahan yang akan diwarnai, sehingga warna tidak mudah luntur.

Zat warna langsung, berikatan langsung dengan serat melalui ikatan hydrogen yang lemah, sehingga zat warna lebih tertarik pada serat selulosa seperti katun. Kecenderungan ini dikarenakan dengan banyaknya jumlah gugus  $-\text{OH}$  pada golongan selulosa, sehingga dapat meningkatkan kekuatan ikatan hidrogen antara zat

warna dengan bahan katun (Mariam, 2015). Aplikasi berbagai zat warna tersaji pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Jenis zat warna dan aplikasinya

Jenis Zat Warna	Deskripsi	Aplikasi (Substrat)	Struktur Utama	Fiksasi (%)
Asam	Anionik, larut air	Wol, nilon, sutra, akrilik modifikasi, kertas, kulit, pangan, tinta ink jet printing	Azo, anthraquinon, trifenilmetan, azine, xanthen, nitro, nitroso	80-93
Basa	Kationik, larut dalam air, warna terang, butuh bantuan asam	Akrilik, polyester, kertas, PAN, beberapa polietilen, tereftalat	Diazemisianin, triarilmetan, sianin, hemisianin, azo, azine, thiazin, oxazin, akridin, anthraquinon.	97-98
<i>Direct</i>	Anionik, larut air	Katun, rayon, turunan selulosa, kertas, kulit, nilon	Senyawa poliazo, beberapa stilbenes, phtalosianines, oxazine	70-95
Terlarut	Non ionic, tidak larut air, digunakan pada permukaan hidrofob	Polyester, asetat, poliamida, plastic, nilon, selulosa, akrilik	Azo, anthraquinon, stiril, nitro, gugus benzodifuranon	80-92

Reaktif	Anionik, larut air, klasifikasi terbesar	Katun, turunan selulosa, wol, nilon	Azo, anthraquinon, triarilmetan, phtalosianin, formazan, oxazin, dan lain-lain	60-90
Sulfur	Senyawa organik yang mengandung sulfur atau NaS	Katun, rayon, turunan selulosa beberapa poliamida, sutra, kulit, kertas, kayu	Struktur yang tidak dapat ditentukan	60-70
Vat	Non ionik, konvensional, kompleks, tak larut air.	Katun, turunan selulosa, rayon, wol	Anthraquinon dan indigoid	80-95

(Mariam, 2015)

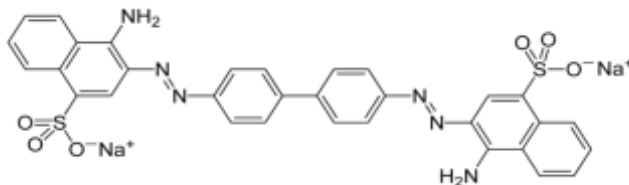
## 2.2. Zat Warna Golongan Azo

Zat warna golongan azo adalah zat warna yang mengandung satu atau lebih gugus azo ( $R_1-N=N-R_2$ ) dan cincin-cincin aromatik yang tersubstitusi oleh gugus sulfon (Saratale, dkk., 2009). Dengan adanya resonansi antara gugus azo dan aromatik tersubstitusi, maka kestabilan zat warna jenis azo sangat tinggi, sulit terurai, dan berbahaya (Linda, dkk., 2009). Hal tersebut dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan oleh Katuri (2009) yang menyatakan bahwa, jika zat warna terpapar dalam badan air, maka hal ini dapat menimbulkan bahaya bagi biota air dan bersifat karsinogenik bagi manusia jika biota yang terkontaminasi dikonsumsi.

Dewasa ini, zat warna golongan azo adalah yang terbanyak diproduksi dan digunakan (70%) pada industri tekstil, kertas, dan kosmetik (Acuner & Dilek, 2004).

Seiring meningkatnya penggunaan zat warna ini, semakin banyak pula efluen yang mengandung zat warna golongan azo. Apabila dibiarkan tanpa adanya penanganan yang baik, akan menyebabkan berbagai dampak lingkungan dan kesehatan seperti penurunan kualitas air, terganggunya ekosistem air, menghambat terjadinya fotosintesis di dalam air yang menyebabkan turunnya kadar DO dalam air, hingga bersifat mutagen bagi beberapa spesies termasuk manusia (Aftab, dkk., 2011).

Salah satu contoh dari zat warna golongan ini adalah *Congo Red* (merah Kongo) yang sering digunakan pada industri tekstil, kulit, kertas, percetakan, kosmetik, dan lain-lain. Merah Kongo termasuk zat warna golongan anionik diazo bergugus benzidine tetrazo dengan dua molekul asam naphtionik.



Gambar 2.1. Struktur merah Kongo

Karena kompleksitas struktur dan reaktifitasnya, air limbah yang mengandung merah Kongo sulit terdegradasi dan menimbulkan warna yang sangat tajam pada air yang dapat menimbulkan masalah lingkungan yang parah (Jain & Sikarwar, 2008). Terlebih lagi merah Kongo bersifat racun, karsinogenik, dan mutagenik bagi biota air dan manusia. Pekatnya warna yang dihasilkan dapat menghambat proses fotosintesis oleh tumbuhan air, sehingga dapat menurunkan kadar oksigen terlarut dalam air yang juga berpengaruh pada biota air lainnya (Gong, dkk., 2005). Oleh karena itu, adanya pengolahan air



limbah yang mengandung zat warna terutama merah Kongo sangat penting untuk dilakukan untuk menjaga kebersihan dan kesehatan lingkungan.

### 2.3. Teknik Pemisahan Zat Warna

Banyak cara telah dilakukan untuk mengolah limbah zat warna agar tidak berbahaya bagi lingkungan juga manusia. Secara umum kandungan dalam air limbah yang mengandung zat warna ditampilkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Kandungan limbah zat warna

Komponen	Nilai
pH	2-10
Suhu (°C)	30-80
COD (mg/L)	50-5000
BOD (mg/L)	200-300
TSS (mg/L)	50-500
Nitrogen organic (mg/L)	18-39
Fosfor total (mg/L)	0,3-15
Krom total (mg/L)	0,2-0,5
Zat warna (mg/L)	± 50

(Ghoreishi & Haghighi, 2003)

Untuk mengolah air limbah yang mengandung zat warna, ada beberapa metode yang telah dikembangkan hingga saat ini yaitu, oksidasi, koagulasi, destruksi elektrokimia, degradasi microbial aerob dan anaerob, hingga teknologi pemisahan menggunakan membran. Teknik pemisahan zat warna tersebut dikelompokkan berdasarkan prosesnya menjadi tiga kelompok besar, yaitu secara fisika, kima, dan biologis (Ghoreishi & Haghighi, 2003). Keseluruhan metode tersebut memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing, data tersebut tertulis pada Tabel 2.4 (Salleh, 2011).

Tabel 2.4. Kelebihan dan kekurangan metode pemisahan zat warna

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Oksidasi	Mudah diaplikasikan	Perlu aktivasi pada oksidator yang digunakan ( $H_2O$ )
Destruksi elektrokimia	Tidak menggunakan bahan kimia dan tidak terbentuk endapan	Tingginya laju alir air limbah menyebabkan penurunan degradasi zat warna
Degradasi oleh mikroba campuran	Zat warna dapat terdegradasi dalam kurun waktu 24-30 jam	Pada kondisi aerob, zat warna golongan azo tidak dapat didegradasi
Adsorpsi oleh mikroba mati	Adsorpsi ini spesifik untuk beberapa zat warna	Tidak dapat digunakan untuk segala zat warna
Adsorpsi menggunakan karbon aktif	Sangat efektif untuk berbagai zat warna	Sangat mahal
Resin penukar ion	Dapat diregenerasi sehingga tidak ada bahan yang terbuang	Tidak dapat digunakan pada segala macam zat warna
Membran filtrasi	Dapat digunakan untuk segala jenis zat warna	Terbentuk endapan

(Salleh, 2011)

### **2.3.1. Teknik Adsorpsi**

Adsorpsi adalah proses terkumpulnya partikel tertentu pada permukaan bahan yang lain. Partikel yang terkumpul pada permukaan bahan lain disebut adsorbat dan bahan yang menjadi tempat berkumpulnya adsorbat disebut adsorben (Dabrowski, 2001). Proses adsorpsi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu kemisorpsi dan fisisorpsi. Kemisorpsi secara garis besar adalah proses penumpukan adsorbat pada permukaan adsorben disertai dengan adanya ikatan kimia yang kuat antara keduanya dan disertai adanya pertukaran elektron (Dabrowski, 2001). Sedangkan, fisisorpsi adalah proses dimana adsorbat dan adsorben berinteraksi melalui gaya-gaya yang relatif lemah seperti gaya Van Der Waals, ikatan hidrogen, momen dipol, dan lain-lain (Allen & Koumanova, 2005). Adsorbat yang teradsorpsi pada adsorben biasanya lebih kuat menempel jika dibandingkan pada proses fisisorpsi, sehingga kemisorpsi biasanya irreversible dan fisisorpsi reversible.

Pada proses pengolahan limbah zat warna umumnya proses fisisorpsi sering digunakan karena kemampuannya untuk diregenerasi. Selain itu fisisorpsi juga tidak membutuhkan perlakuan khusus untuk diaplikasikan (Yagub, dkk., 2014). Namun metode ini memiliki beberapa kekurangan. Diantaranya adalah banyaknya aspek penentu keberhasilan proses fisisorpsi seperti pH, suhu, dan jenis adsorbat, dan tingginya biaya operasional. Berikut tersaji pada Tabel 2.5 kinerja dari berbagai adsorben pada berbagai rentang pH untuk proses pemisahan zat warna (Yagub, dkk., 2014).

Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa metode adsorpsi untuk pemisahan zat warna kurang efektif digunakan karena keterbatasan lingkungan (pH) yang menyebabkan rendahnya % rejeksi terhadap zat warna dan hanya dapat digunakan untuk zat warna

tertentu, sehingga tidak dapat digunakan untuk berbagai macam zat warna yang umumnya bercampur dalam air limbah.

Tabel 2.5. Kinerja adsorpsi berbagai jenis adsorben

Adsorben	Zat warna	Rentang pH	% Rejeksi
Alumina modifikasi	<i>Crystal Violet</i>	2,6-10,8	20-80
Kaolin	<i>Crystal Violet</i>	2-7	65-95
Clay aktif	<i>Methylene Blue</i>	2-9	60-95
Abu layang	<i>Methylene Blue</i>	2-8	36-45
Bunga pinus	<i>Congo Red</i>	3,55-10,95	60,5-5,75

(Yagub, dkk, 2014)

### 2.3.2. Teknik Bioremediasi

Teknik bioremediasi menggunakan mikroba yang sudah mati, atau masih hidup seperti bakteri, alga, ragi, jamur, dan lain-lain. Teknik bioremediasi dengan menggunakan mikroorganisme, jamur, dan enzim kini banyak diminati karena biaya operasional yang rendah dan ketersediaan bahan yang melimpah. Umumnya metode ini membutuhkan reaktor khusus dengan kontrol berkala untuk memelihara mikroba yang ada di dalamnya, sehingga proses degradasi zat warna dapat berjalan secara baik (Kalathil, dkk., 2012; Chen, dkk., 2011). Proses degradasi zat warna yang terjadi dalam reaktor juga diiringi dengan terjadinya berbagai reaksi kompleks seperti, biosorpsi oleh mikroba, pertukaran ion, kompleksasi, mikropresipitasi, dan lain-lain (Crini, 2006). Biosorpsi dapat terjadi akibat adanya interaksi antara zat

warna dengan gugus fungsi yang ada pada dinding sel mikroba seperti, asam amino, karboksil, hidroksi, fosfat, dan lain-lain (Srinivasan, dkk., 2010). Agar proses degradasi zat warna dapat berjalan dengan maksimal, mikroba hidup yang ada di dalam reaktor harus dijaga kondisinya dengan memperhatikan kondisi lingkungan reaktor dan faktor nutrisi yang dibutuhkan oleh mikroba.

Oleh karena itu, bioremediasi dengan menggunakan mikroba mati lebih menguntungkan karena tidak diperlukan adanya kontrol nutrisi dan lingkungan pada reaktor (Fu dan Viraraghavan, 2001). Sebagai gantinya, pengolahan limbah zat warna dengan mikroba mati memerlukan perlakuan awal yang lebih kompleks dan penambahan aktivator untuk meningkatkan kinerja gugus fungsi pada mikroba, sehingga proses biosorpsi dapat berjalan dengan baik. Dengan kompleksnya perlakuan dan perawatan reaktor, serta keterbatasan metode ini dalam mendegradasi limbah zat warna, maka metode ini dirasa masih kurang efektif untuk digunakan.

### **2.3.3. Teknologi Membran**

Aplikasi teknologi membran yang sangat luas pada industri, kertas, tekstil, pangan dan lain sebagainya menjadi salah satu alasan teknologi membran kian diminati di kalangan peneliti dan industri. Teknologi membran dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok berdasarkan prinsip kerjanya. Salah satu diantaranya adalah membran yang dapat memisahkan fasa satu dengan lainnya berdasarkan ukuran partikel. Berdasarkan ukuran partikel yang dipisahkan, membran dibagi lagi menjadi membran mikrofiltrasi (MF), ultrafiltrasi (UF), nanofiltrasi (NF), dan *reverse osmosis* (RO) (Ding, dkk., 2015). Zat warna, berdasarkan ukuran partikelnya sebagian besar dapat dipisahkan menggunakan membran UF atau NF.

Membran mikrofiltrasi dapat memisahkan partikel dengan ukuran 0,025-10  $\mu\text{m}$  dengan tekanan hingga 2 bar. Mikrofiltrasi sering digunakan pada industri pangan untuk pemisahan bakteri dari produk pangan, pengolahan air limbah perkotaan (Raffin, dkk., 2013), proses akhir pengolahan limbah logam berat (Keerthi, dkk., 2013), pemisahan emulsi minyak air (Chang, dkk., 2014), dan untuk pemisahan pengotor pada cairan pelumas (Wendler, dkk., 2013).

Membran ultrafiltrasi dapat memisahkan partikel dengan ukuran 1-700 kDa dengan tekanan mulai 1 hingga 5 bar. Ultrafiltrasi sering digunakan sebagai membran anti penyumbatan (*antifouling*) sebagai perlakuan awal pada proses desalinasi air laut (Lau, dkk., 2014), pengolahan air limbah kompleks, dan pemisahan surfaktan dan zat warna pada air limbah (Tripathi, dkk., 2013).

Sedangkan membran nanofiltrasi dapat memisahkan partikel dengan ukuran 0,2-1 kDa dengan tekanan 2 hingga 25 bar. Membran ini sering digunakan pada pemisahan mikropolutan dalam air (Luo, dkk., 2014), pemisahan zat-zat karsinogenik dalam air, pemisahan kerak dalam air sadah (Izadpanah & Javidnia, 2012), dan desalinasi air payau (Galanakis, dkk., 2012).

Pada pengolahan limbah zat warna, teknologi membran sering digunakan karena beberapa kelebihan yang dimilikinya. Kemampuannya untuk memisahkan hampir segala macam zat warna berdasarkan ukuran partikelnya menjadi keunggulan utama metode ini, selain itu teknologi membran juga praktis dan juga dapat digunakan berulang kali tanpa adanya penurunan performa yang signifikan (Dasgupta, dkk., 2015). Secara umum kinerja membran filtrasi ditampilkan pada Tabel 2.6 (Baker, 2004).

Tabel 2.6. Kinerja membran filtrasi

Proses Membran	Tekanan (bar)	Fluks ( $L/m^2 \cdot jam$ bar)	Rejeksi larutan garam (NaCl)	MWCO ( <i>Molecular Weight Cut Off</i> )
Mikrofiltrasi	0,1-2 (<2)	>50	Sangat kecil	Sangat besar
Ultrafiltrasi	1-5	10-50	<5%	>1000
Nanofiltrasi	5-20	1,4-12	20-80%	200-1000
<i>Reverse Osmosis</i>	10-100	0,05-1,4	90%	50

(Baker, 2004)

Membran ultrafiltrasi dan nanofiltrasi lebih sering digunakan dalam pengolahan limbah zat warna karena persen rejeksi garam yang tinggi dan ukuran partikel zat warna yang kebanyakan masuk dalam range ultrafiltrasi dan nanofiltrasi.

## 2.4. Parameter Kinerja Membran

Ada dua parameter utama yang menentukan kinerja membran, yaitu laju aliran (fluks) dan selektivitas (rejeksi). Secara umum, fluks akan menentukan berapa banyak permeat yang dapat dihasilkan (kuantitas), sedangkan selektivitas berkaitan dengan kualitas permeat (Mulder, 1996).

### 2.4.1. Permeabilitas (Fluks Air)

Fluks air adalah jumlah volume permeat yang melewati satu satuan permukaan luas membran dengan waktu tertentu dengan adanya gaya dorong dalam hal ini berupa tekanan. Secara umum fluks air dapat dirumuskan pada Persamaan 2.1 (Mulder, 1996).

$$J = \frac{V}{A.t}$$

2.1.

dimana J merupakan fluks permeat ( $L/m^2.jam$ ), V adalah volume permeat (Liter), A adalah luas permukaan membran ( $m^2$ ), t adalah waktu (jam).

Masalah yang sering ditemui dalam proses ultrafiltrasi adalah kecenderungan terjadinya penurunan fluks sepanjang waktu pengoperasian akibat pengendapan atau pelekatan material di permukaan membran, yang dikenal dengan istilah fouling dan scaling (Rautenbach, 1989). Fouling biasanya disebabkan oleh adanya pengendapan oksida logam, material kolid, pertumbuhan biologis oleh bakteri ataupun mikroorganisme. Sedangkan scaling biasanya terjadi akibat pelekatan material seperti  $CaSO_4$ ;  $CaCO_3$ ;  $BaSO_4$ ;  $SrSO_4$ ;  $Mg(OH)_2$ ; dan lain-lain. Terjadinya fouling diawali dengan adanya polarisasi konsentrasi yaitu peningkatan konsentrasi local dari suatu solute pada permukaan membran, sehingga material terlarut berkumpul membentuk lapisan kerak sehingga fluks mengalami penurunan karena adanya hambatan besar yang menutup pori membran.

#### **2.4.2. Permselektivitas (Rejeksi)**

Rejeksi membran merupakan ukuran kemampuan suatu membran menahan suatu spesi atau melewatkan suatu spesi tertentu lainnya. Selektivitas membran tergantung pada interaksi antar muka dengan spesi yang akan melewatinya, ukuran pori permukaan membran. Parameter yang digunakan untuk menggambarkan selektivitas membran adalah koefisien Rejeksi (R). Koefisien rejeksi adalah fraksi konsentrasi zat terlarut yang tidak menembus membran, dan dirumuskan sebagai berikut (Mulder, 1996):



$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\% \quad 2.2.$$

Dimana R adalah koefisien rejeksi,  $C_p$  adalah konsentrasi zat terlarut dalam permeat,  $C_f$  adalah konsentrasi zat terlarut dalam umpan. Dengan harga R berkisar antara 0% sampai 100%. Jika harga R = 100% berarti zat kontaminan ditahan oleh membran secara sempurna.

Untuk mengurangi penumpukan materi pada permukaan membran, ada dua cara yang dapat diambil, yaitu (Milisic,1996):

- a. Menjaga partikel mengenai membran, atau
- b. Membersihkan membran tersebut.

## **2.5. Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Membran**

Kinerja membran dapat sangat erat kaitannya dengan morfologi, sifat fisik, dan sifat kimia dari membran (Wang, dkk, 2002). Oleh karena itu, telah banyak dilakukan penelitian untuk memodifikasi morfologi, sifat fisik, dan sifat kimia membran. Kinerja membran ultrafiltrasi dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut.

### **2.5.1. Porositas**

Porositas membran adalah rasio antara pori dan matriks membran. Nilai porositas menyatakan banyaknya pori, dan makrovoid dalam suatu membran. Porositas berkaitan erat dengan fluks air dan rejeksi membran terhadap suatu spesi tertentu. Pada umumnya, semakin tinggi porositas membran, semakin tinggi fluks air dan semakin rendah rejeksi membran terhadap suatu spesi tertentu. Hal ini dapat terjadi akibat perubahan pada ukuran pori dan makrovoid pada membran.

### **2.5.2. Muatan Membran**

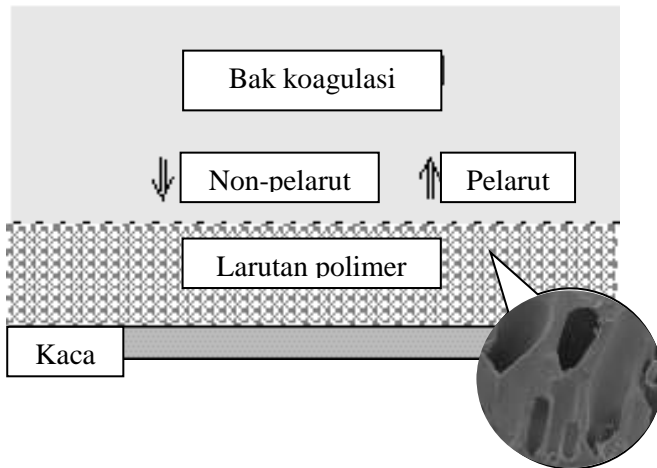
Pada prinsipnya, membran ultrafiltrasi dapat memisahkan satu spesi dengan spesi lainnya berdasarkan ukuran molekul. Akan tetapi kinerja membran ultrafiltrasi dapat menurun atau meningkat bergantung pada sifat muatan membran dan muatan spesi yang dipisahkan. Membran dengan muatan negatif akan lebih tinggi rejeksinya terhadap spesi bermuatan negatif. Demikian pula sebaliknya. Hal ini dapat terjadi akibat adanya gaya tolak menolak antara permukaan membran dengan spesi yang akan dipisahkan.

### **2.5.3. Hidrofilisitas Membran**

Fluks air membran ultrafiltrasi sangat dipengaruhi oleh sifat hidrofilisitas membran. Dengan membran yang hidrofil, air akan lebih mudah masuk dan melewati membran dibandingkan membran yang hidrofob. Membran hidrofob akan cenderung menahan air yang akan lewat sehingga fluks air menurun. Hidrofilisitas membran biasanya dapat ditingkatkan dengan cara menambahkan aditif yang bersifat hidrofil ke dalam membran. Cara lain dapat dilakukan dengan melapisi membran dengan material lain yang bersifat hidrofil, atau mereaksikan membran sehingga diperoleh gugus fungsi yang bersifat hidrofil.

## **2.6. Inversi Fasa**

Inversi fasa adalah salah satu metode pembuatan membran yang sering digunakan pada industri. Metode ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan metode lainnya. Diantaranya, fabrikasi yang cepat, biaya yang rendah, mudah, dan sederhana. Proses pembentukan membran dengan metode inversi fasa, dapat diamati pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Proses terjadinya inversi fasa

Proses pertukaran pelarut dan non-pelarut terjadi akibat adanya perbedaan kelarutan polimer dalam pelarut dan nonpelarut. Perbedaan ini akan menghasilkan aliran difusi antara pelarut dengan non-pelarut (Han, dkk, 2013). Hal ini terjadi pada lapisan atas polimer dan kemudian perlahan terjadi pada lapisan di bawahnya yang akan menyebabkan terbentuknya inti dari fasa polimer. Afinitas yang rendah antara rantai selulosa asetat dan molekul air pada saat molekul air berdifusi ke dalam larutan polimer yang menghasilkan inti fasa polimer. Proses difusi yang berlanjut terus menerus akan menyebabkan tumbuhnya inti polimer yang terbentuk hingga konsentrasinya sangat tinggi. Pada titik tersebut proses pemadatan membran terjadi (proses *demixing* telah selesai) (Mohammadi & Saljoughi, 2009).

Laju proses pemadatan ini mempengaruhi morfologi membran. Proses yang cepat cenderung menghasilkan makrovoid dalam struktur membran,

sedangkan proses yang lebih lambat akan menghasilkan membran yang lebih padat. Pada proses pemadatan yang lebih lambat, nukleasi terjadi setelah beberapa saat, dan konsentrasi polimer akan meningkat pada lapisan atas membran. Kemudian nukleasi mulai terjadi pada lapisan di bawahnya secara bertahap. Akibatnya, ukuran pori yang dihasilkan pada membran lebih kecil dan rapat (Saljoughi, dkk, 2009). Dengan kata lain, dengan laju yang lambat, proses nukleasi akan lebih terkendali, sehingga akan terbentuk banyak inti dengan ukuran yang lebih kecil dan tersebar secara merata pada permukaan membran. Oleh karena itu, pembentukan makrovroid dapat dihindari dan dihasilkan membran yang lebih rapat (Abedini, dkk, 2011).

## **2.7. Modifikasi Membran**

Penumpukan partikel pada permukaan membran pada umumnya menjadi penyebab utama terjadinya fouling pada membrane. Hal tersebut seringkali menjadi penyebab utama terjadinya penurunan kinerja membran. Penumpukan partikel ini dapat dihilangkan dengan berbagai macam cara pembersihan membran, namun ada beberapa pengecualian dimana partikel yang menumpuk pada permukaan membrane berikatan dengan membrane dan tidak dapat diregenerasi sehingga harus diganti dan berdampak pada meningkatnya biaya operasional (Kimura, dkk., 2004).

Oleh sebab itu perlu dilakukan modifikasi membrane untuk mengatasi berbagai permasalahan yang mungkin muncul pada membrane. Modifikasi membrane umumnya dilakukan untuk meningkatkan kinerja membrane. Pelapisan permukaan, blending, dan grafting adalah metode yang paling sering digunakan (Wang & Lai, 2013).

### **2.7.1. Blending**

*Blending* adalah salah satu metode modifikasi membran dimana bahan aditif dicampurkan langsung ke dalam larutan cetak. Hal ini bertujuan untuk mencapai suatu kondisi tertentu baik dari segi morfologi membran atau sifat dari membran itu sendiri (Wang & Lai, 2013). Aditif polimer seperti polietilen glikol (PEG) dan polivinil pirolidon (PVP) sering digunakan sebagai agen pembentuk pori pada membran. Penambahan agen pembentuk pori ini bertujuan untuk meningkatkan porositas dan hidrofilisitas membran. Dengan meningkatnya porositas dan hidrofilisitas membran, maka kecenderungan membran untuk tersumbat akan berkurang (Gullen, dkk., 2011).

### **2.7.2. Pelapisan Permukaan (Coating)**

Coating adalah salah satu metode modifikasi membran dengan cara melapisi membran yang telah dibuat. Bahan pelapis yang digunakan untuk melapisi membran bertujuan untuk memberikan sifat tertentu pada permukaan membran sehingga membran bisa lebih selektif terhadap bahan tertentu (Chen, dkk., 2013).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Chen dkk. (2013), membran ultrafiltrasi poliakrilonitril (PAN) dilapis dengan menggunakan  $\text{CaCO}_3$  untuk memberikan muatan negatif dari membran. Dengan pelapisan  $\text{CaCO}_3$ , permukaan membran bermuatan negatif. Oleh karena muatan membran dan muatan zat warna sama, maka yang terjadi adalah adanya gaya tolak menolak antara membran dan zat warna yang berakibat pada peningkatan rejeksi membran terhadap zat warna merah Kongo. Hal ini dapat dibuktikan dengan meningkatnya persen rejeksi dari 24% menjadi 98% (Chen, dkk, 2013).

### **2.7.3. Grafting**

Metode grafting umumnya dilakukan dengan menggunakan bantuan sinar ultraviolet (UV) untuk memodifikasi sifat membran. Sinar UV yang dipaparkan pada membran dapat memicu reaksi polimerisasi radikal sehingga reaksi polimerisasi dapat berlangsung dengan lebih cepat. Dengan radiasi UV, reaksi membran dengan monomer tertentu dapat terjadi, sehingga sifat membran dapat dimodifikasi (Ng, dkk., 2012).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rahimpour (2011), dilakukan UV-photografting membran Polyether Sulfon dengan monomer hidrofil. Membran PES dicelupkan ke dalam larutan monomer untuk kemudian diradiasi dengan sinar UV. Dengan waktu radiasi 5 menit, sifat hidrofilisitas membran meningkat, hal tersebut disebabkan bertambahnya gugus hidrofil pada permukaan membran akibat reaksi dengan monomer hidrofil (Rahimpour, 2011).

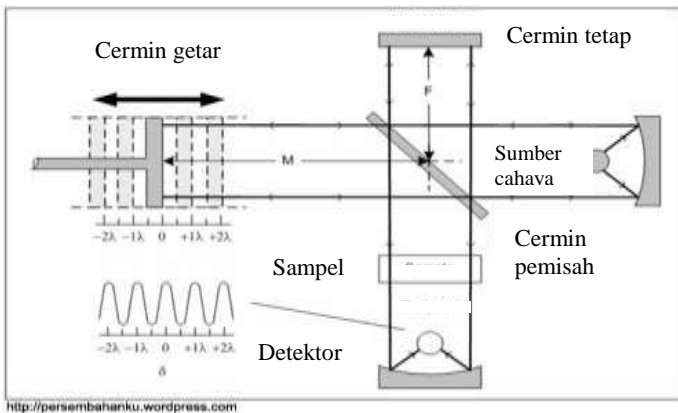
## **2.8. Karakterisasi Membran**

### **2.8.1. Fourier Transform Infra Red**

*Fourier Transform Infra Red* (FTIR) adalah metode yang digunakan untuk mempelajari adanya gugus fungsi tertentu dalam suatu senyawa (Bruice, 2001). Prinsip yang digunakan pada metode ini adalah adanya gerak vibrasi antar atom dalam suatu gugus fungsi ketika diradiasi dengan sinar inframerah. Getaran ini dapat terjadi karena atom-atom tersebut menyerap sejumlah energi sehingga amplitudo getaran meningkat. Bentuk, tipe, dan jenis ikatan berpengaruh terhadap serapan panjang gelombang dari atom pada gugus fungsi tersebut. Oleh sebab itu, karakterisasi dengan FTIR dapat digunakan sebagai bahan analisis kuantitatif (Sibilia, 1996). Serapan panjang gelombang (bilangan gelombang) dari suatu gugus fungsi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$v = \frac{1}{2\pi c} \left[ \frac{f(m_1 + m_2)}{m_1 \cdot m_2} \right]^{1/2} \quad 2.3$$

Persamaan di atas diturunkan dari hukum Hooke tentang pegas. Dimana ( $v$ ) adalah bilangan gelombang dari gerak vibrasi, ( $f$ ) adalah konstanta gaya ikatan, dan ( $m_1$  dan  $m_2$ ) adalah massa dari dua atom yang saling berikatan. Dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa bilangan gelombang berbanding terbalik dengan massa atom, sehingga massa yang besar pada ikatan suatu gugus fungsi akan menyebabkan bilangan gelombang muncul pada daerah yang lebih rendah (Bruce, 2001). Berikut adalah bagan alat dari FTIR yang tersaji pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Skema alat FTIR

### 2.8.2. Scanning Electron Microscope (SEM)

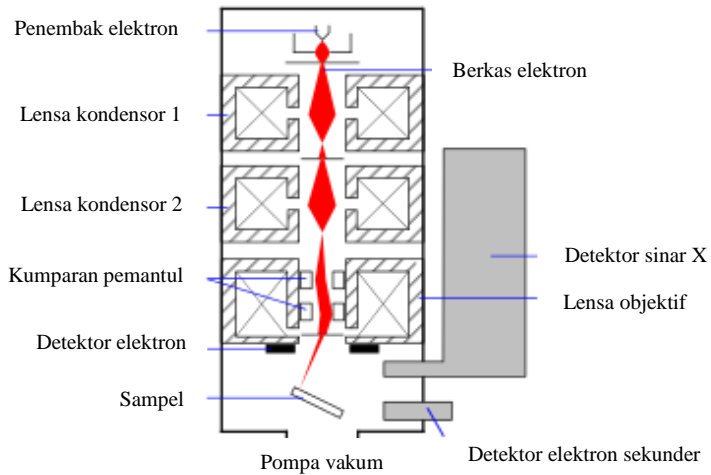
*Scanning Electron Microscope* adalah suatu instrumen sejenis mikroskop yang dapat digunakan untuk melihat benda dengan menggunakan elektron sebagai ganti cahaya yang digunakan pada mikroskop

konvensional (Gedde, 1995). SEM dapat pula digunakan untuk mengetahui struktur mikro (tekstur, morfologi, komposisi, kristalografi, permukaan dan lain-lain) dari suatu material. Morfologi yang dapat diamati menggunakan SEM antara lain bentuk, ukuran, dan susunan partikel (Ewing, 1985).

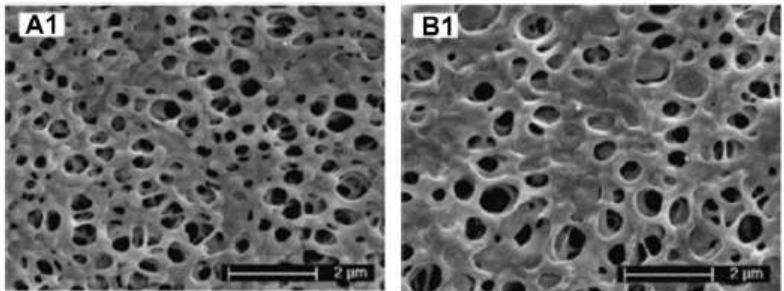
Berkas sinar elektron pada SEM dihasilkan oleh penembak elektron, dimana gelombang elektron difokuskan pada satu titik oleh lensa objektif. *Scanning coil* kemudian menghasilkan suatu medan magnetik bagi berkas sinar elektron yang mengenai sampel agar dapat menghasilkan elektron sekunder yang akan ditangkap oleh detektor sekunder. Gambar yang dihasilkan pada SEM berupa titik-titik kecil dengan berbagai intensitas pada permukaan cathode ray tube (CRT) sebagai topografinya. Sampel yang akan dikarakterisasi diletakkan dalam ruang vakum untuk memperoleh atmosfer inert agar tidak terjadi reaksi yang dapat mengganggu proses pengambilan gambar. Bagan alat dari SEM dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Untuk mengetahui pengaruh penambahan aditif PEG terhadap ukuran pori dan porositas membran, maka karakterisasi dengan SEM dapat dilakukan. Pada Gambar 2.5 adalah contoh perubahan pada pori membran sebelum dan setelah penambahan PEG. Pada gambar tersebut nampak bahwa setelah penambahan PEG pori dan porositas membran meningkat sebanding dengan penambahan konsentrasi PEG.





Gambar 2.4. Skema Alat Scanning Electron Microscope



Gambar 2.5. Permukaan PES (A1) setelah dan (B1) sebelum penambahan aditif

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Alat dan Bahan**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini diperoleh langsung dan langsung digunakan tanpa adanya perlakuan khusus terlebih dahulu. Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain selulosa asetat (CA) (Sigma Aldrich), dimetil asetat (DMAc) (Sigma Aldrich), zat warna *congo red* (Sigma Aldrich), polietilen glikol 400 (Bratachem), methanol (Bratachem), akuades, dan formaldehid. Sedangkan alat-alat yang digunakan antara lain pengaduk magnetik, *scanning electron microscope* (SEM), *fourier transform infra red* (FTIR), spectrometer UV-Vis, dan alat uji fluks dan rejeksi.

#### **3.2. Preparasi Larutan Cetak**

Larutan cetak CA/PEG dipreparasi dengan menggunakan metode inversi fasa seperti yang telah dilakukan oleh Han (2013). Sebanyak X% berat CA/PEG dengan berbagai komposisi seperti yang tersaji pada Tabel 3.1 dilarutkan dalam Y% DMAc dengan pengadukan konstan pada suhu 65 °C selama 4 jam. Larutan ini kemudian didiamkan selama 12 jam untuk menghilangkan gelembung udara yang terbentuk pada proses pengadukan. Selanjutnya membran dicetak pada plat kaca dengan bantuan *stainless steel roller*. Setelah didiamkan selama 30 detik, plat kaca berisi larutan cetak dicelupkan ke dalam akuades selama 10 menit hingga membran terkelupas dari plat kaca dan kemudian disimpan dalam larutan formaldehid 1%. Untuk variasi waktu perendaman H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada membran, membran yang telah dipersiapkan sebelumnya direndam dalam larutan asam sulfat 1M selama 30, 60, 90, dan 120 menit. Membran yang dihasilkan kemudian dibilas dengan akuades kemudian

disimpan dalam larutan formalin 1% untuk menghindari pertumbuhan mikroba pada permukaan membrane.

Tabel 3.1. Daftar variasi komposisi CA/PEG/DMAc

CA (%)	PEG 400 (%)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (menit)	DMAc (%)
20,0	-	-	80,0
17,5	-	-	82,5
15,0	-	-	85,0
12,5	-	-	87,5
17,5	1	-	81,5
17,5	2	-	80,5
17,5	3	-	79,5
17,5	4	-	78,5
17,5	2	30	80,5
17,5	2	60	80,5
17,5	2	90	80,5
17,5	2	120	80,5

### 3.3. Karakterisasi Membran

#### 3.3.1. Analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

Struktur morfologi dari membrane diamati dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Untuk pengamatan tampang lintang membrane, membran dibekukan dengan menggunakan nitrogen cair selama 30 detik, kemudian bagian yang beku dipatahkan dan disimpan. Membran-membran yang telah dipotong kemudian dilapis dengan emas untuk memberikan sifat konduktif pada membran. Gambar dari SEM diambil pada kondisi vakum dengan tegangan pemercepat 10 kV untuk tampang lintang membran dengan perbesaran 500 kali untuk keduanya.

### 3.3.2. Analisis *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Gugus fungsi dari membran diamati dengan menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Membran kering dipeletkan bersama dengan sejumlah serbuk KBr pada mortar dan cetakan tekan, kemudian pelet diletakkan di dalam *sample holder*. Selanjutnya dilakukan analisis FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung di dalamnya.

## 3.4. Uji Kinerja Membran

### 3.4.1. Analisis Porositas

Karakterisasi porositas dilakukan dengan cara memotong membran menjadi bagian-bagian kecil untuk kemudian direndam dalam air selama 24 jam. Setelah perendaman kemudian membran dikeringkan dengan tisu dan ditimbang. Setelah itu membran dikeringkan dalam pengering vakum selama 48 jam pada suhu 75°C dan ditimbang. Presentase porositas dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.1 (Sivakumar, dkk, 1998).

$$P (\%) = \frac{W_w - W_d}{P_w \times A \times \delta} \times 100 \quad 3.1.$$

Dengan

P : Porositas (%)

$W_w$  : berat basah membran (gram)

$W_d$  : berat kering dari membran (gram)

A : luas membran basah (cm<sup>2</sup>)

$\delta$  : ketebalan membran (cm)

$\rho_w$  : densitas air (g/cm<sup>3</sup>)

### 3.4.2. Analisis Fluks Air Murni

Membran yang telah dicuci dipotong berbentuk lingkaran dengan diameter 50 mm. Permeabilitas

membrane diukur pada tekanan 2 bar dengan menggunakan instrument ultrafiltrasi dead-end standar dengan area filtrasi efektif sebesar 19,625 cm<sup>2</sup>. Permeat membrane selama 10 disimpan dan dianggap sebagai fluks air (J). Fluks air kemudian dihitung selama waktu pengukuran dengan menggunakan Persamaan 3.2 (Sivakumar, dkk, 1998).

$$J_w = \frac{V}{A \times t} \quad 3.2.$$

Dengan

$J_w$  : fluks air murni (L/m<sup>2</sup> jam)

$V$  : volume air permeat (L)

$A$  : luas permukaan membran (m<sup>2</sup>)

$t$  : waktu (jam)

### 3.4.3. Analisis Rejeksi *Congo Red*

Larutan zat warna sintetis merah Kongo dibuat dengan konsentrasi 50mg/L sebanyak 50 mL untuk tiap membran. Larutan ini kemudian dilewatkan membrane ultrafiltrasi yang telah dipersiapkan sebelumnya menggunakan modul dead-end pada tekanan 2 bar dengan pengadukan konstan. Konsentrasi dari zat warna dan permeat dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada 497 nm dimana pada panjang gelombang tersebut absorbansi merah Kongo paling besar. Rejeksi dari merah Kongo dapat dihitung dengan Persamaan 3.3.

$$R = \left(1 - \frac{C_f}{C_p}\right) \times 100\% \quad 3.3.$$

Dimana,  $C_f$  dan  $C_p$  adalah konsentrasi zat warna pada feed dan permeat (Clesceri, dkk., 1998).

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada penelitian ini, membran ultrafiltrasi selulosa asetat dan selulosa asetat/PEG dibuat langsung dari serbuk selulosa asetat dengan pelarut dimetil asetat (DMAc) melalui teknik inversi fasa rendam endap. Pertama, konsentrasi selulosa asetat divariasi 12,5%; 15%; 17,5%; dan 20% (b/b). Membran selulosa asetat yang menunjukkan hasil uji kinerja membran terbaik, selanjutnya dipilih untuk dilakukan penambahan PEG 400 sebagai agen pembentuk pori (Artanareeswaran, dkk, 2004) dengan variasi 1%; 2%; 2,5%; dan 3% (b/b).

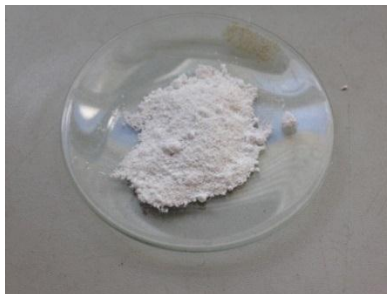
Membran dengan kinerja terbaik pada penambahan PEG 400, kemudian direndam dalam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1M dengan variasi waktu perendaman 30, 60, 90, dan 120 menit. Perendaman dalam larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  bertujuan untuk memberikan muatan negatif pada permukaan membran untuk meningkatkan persen rejeksi zat warna merah Kongo (Chen, dkk, 2013). Membran yang telah dibuat kemudian diuji porositas, fluks air murni, dan persen rejeksinya. Karakterisasi yang dilakukan pada membran antara lain *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui vibrasi gugus fungsi pada membran (Bruice, 2001) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk memperoleh informasi tentang morfologi permukaan dan tampak lintang membran.

#### **4.1. Pengaruh Variasi Konsentrasi Selulosa Asetat**

Pada studi pengaruh variasi konsentrasi selulosa asetat ini, dilakukan beberapa tahapan pembuatan membran selulosa asetat dengan berbagai konsentrasi. Preparasi membran selulosa asetat dilakukan mengikuti metode yang dilaporkan oleh Han, dkk (2013). Pada penelitian ini digunakan metode inversi fasa rendam

endap. Konsentrasi polimer adalah salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap proses inversi fasa. Banyaknya serbuk selulosa asetat yang digunakan sebagai matriks membran ultrafiltrasi akan mempengaruhi matriks membran yang terbentuk nantinya (Artanareeswaran, dkk, 2004). Membran dengan konsentrasi polimer yang tinggi akan menghasilkan matriks membran yang lebih rapat, demikian pula sebaliknya. Rapatnya matriks membran yang dihasilkan akan membentuk membran yang *rigid* dengan porositas dan ukuran pori yang cenderung kecil dan seragam. Selain dari konsentrasi yang digunakan, laju difusi antara pelarut dan non-pelarut juga sangat mempengaruhi struktur membran yang dihasilkan. Pada dasarnya proses inversi fasa terjadi akibat adanya perbedaan kelarutan bahan yang digunakan dengan pelarut dan non-pelarut ketika dicetak. Proses inversi fasa yang terjadi dapat diilustrasikan sebagaimana yang dijelaskan pada Sub bab 2.5 tentang proses inversi fasa.

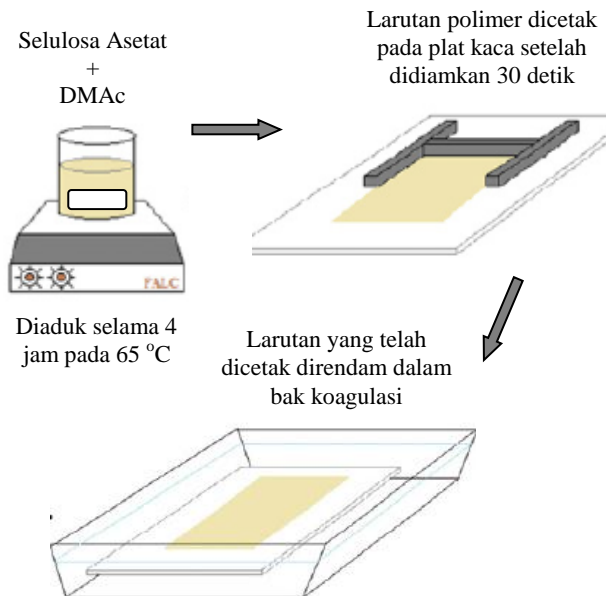
Pada penelitian ini, serbuk selulosa asetat sebagai bahan utama pembentuk matriks membran (Sivakumar, dkk, 1998) dan dipelajari pengaruh konsentrasi selulosa asetat (12,5%; 15%; 17,5%; dan 20% (b/b)) terhadap morfologi dan kinerja membran. Selulosa asetat yang digunakan berbentuk serbuk berwarna putih seperti yang terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Serbuk selulosa asetat



Setelah membran dipreparasi sesuai dengan metode yang telah dilaporkan oleh Han (2013) seperti pada Gambar 4.2, dihasilkan membran selulosa asetat berwarna putih seperti pada Gambar 4.3. Membran ini kemudian disimpan dalam kondisi basah untuk digunakan pada pengujian berikutnya.



Gambar 4.2. Proses preparasi membran dengan metode inversi fasa

Membran selulosa asetat dianalisis menggunakan FTIR untuk menunjukkan tidak adanya ikatan kimia antara selulosa asetat dengan DMAc. Spektra selulosa asetat murni ditampilkan pada Gambar 4.4.

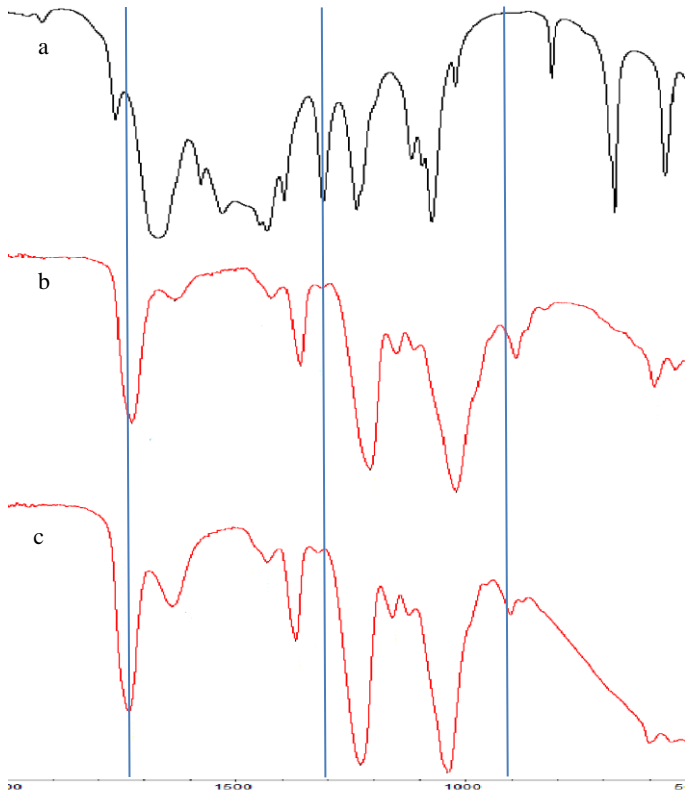


Gambar 4.3. Membran yang telah dicetak dan dicelup

Pada spektra tersebut nampak puncak tajam pada bilangan gelombang  $1732\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gerak vibrasi ikatan  $\text{C=O}$ . Puncak tajam pada  $902\text{ cm}^{-1}$  muncul akibat adanya gerak vibrasi gugus hidroksil. Pada spektra membran selulosa asetat, tidak nampak banyak perbedaan dari spektra serbuk selulosa asetat murni yang belum dilarutkan dengan DMAc. Puncak khas dari DMAc pada bilangan gelombang  $1306\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus  $\text{C-N}$  juga tidak nampak pada spektra membran selulosa asetat. Hal ini membuktikan bahwa tidak ada ikatan baru yang terbentuk antara selulosa asetat dengan DMAc. Hasil serupa juga telah dilaporkan oleh Ali (2010). Pada penelitian tersebut dilaporkan bahwa tidak ditemukan adanya interaksi antara selulosa asetat dengan pelarut, yang dibuktikan dengan spektra FTIR yang serupa tanpa ada pergeseran puncak.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, laju pemadatan dari membran memiliki pengaruh besar terhadap morfologi membran yang terbentuk. Morfologi membran dapat diamati dengan bantuan instrumen *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pengamatan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh

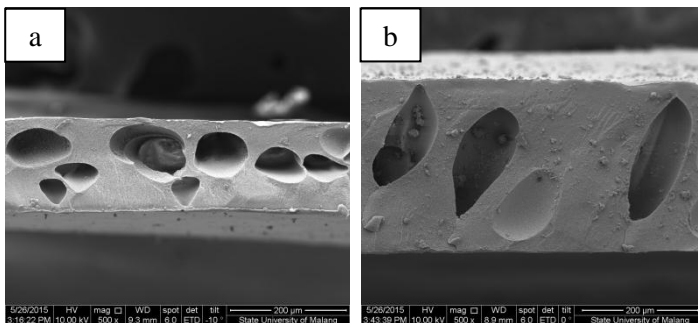
konsentrasi serbuk selulosa asetat pada larutan cetak terhadap porositas membran yang dihasilkan.



Gambar 4.4 Spektra FTIR (a) DMAc, (b) serbuk selulosa asetat, dan (c) membran selulosa asetat

Hasil SEM dari membran selulosa asetat dengan konsentrasi 17,5% dan 20% (b/b) ditampilkan pada Gambar 4.5. Dari gambar tersebut dapat diamati morfologi tampang lintang membran selulosa asetat

dengan konsentrasi 17,5% (a) yang dilarutkan dengan DMAc. Pada gambar tersebut tampak struktur membran yang rapat dengan beberapa makrovoid yang terbentuk pada saat proses pemadatan. Dengan meningkatnya konsentrasi selulosa asetat dalam membran, maka distribusi makrovoid pada membran semakin kecil. Dengan kata lain, semakin besar konsentrasi selulosa asetat yang digunakan pada membran, semakin rapat pula membran yang dihasilkan (Han, dkk, 2013). Hal tersebut dapat dibuktikan dengan membandingkan Gambar 4.5a dengan 4.5b.

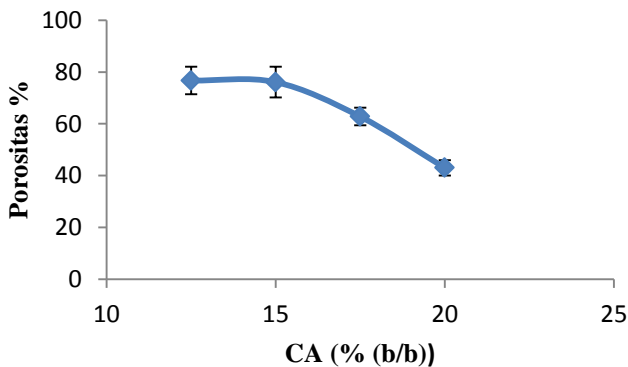


Gambar 4.5. SEM morfologi tampang lintang membran selulosa asetat (a) 17,5% (b/b) (b) 20% (b/b)

Berdasarkan kedua gambar tersebut, dapat diamati distribusi makrovoid membran selulosa asetat 17,5% (b/b) lebih tinggi dibandingkan dengan membran selulosa asetat 20% (b/b). Hasil serupa juga dapat diamati pada penelitian yang telah dilaporkan oleh Han (2013). Pada penelitian tersebut dilaporkan bahwa dengan menurunnya konsentrasi selulosa asetat pada membran, distribusi makrovoid yang dihasilkan meningkat.

Setelah dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR dan SEM, tahapan selanjutnya dari penelitian ini

adalah pengujian kinerja membran. Porositas adalah salah satu penentu utama kinerja suatu membran yang berkaitan erat dengan fluks air (Ma, dkk, 2011). Oleh karena itu, pengaruh konsentrasi selulosa asetat terhadap porositas membran yang dihasilkan perlu diamati. Hasil yang diperoleh dari uji porositas membran selulosa asetat yang telah dilakukan menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi selulosa asetat pada larutan cetak, menurunkan porositas membran. Porositas tertinggi diperoleh pada membran selulosa asetat 12,5%, yaitu sebesar 76,71% dan yang terendah diperoleh pada membran selulosa asetat 20%, yaitu sebesar 43,03%. Hasil selengkapnya dapat diamati pada Gambar 4.6.

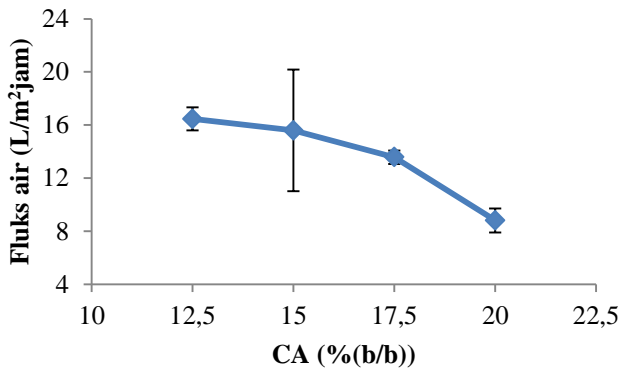


Gambar 4.6. Pengaruh konsentrasi selulosa asetat terhadap porositas membran

Peningkatan konsentrasi selulosa asetat pada larutan cetak akan meningkatkan kerapatan membran yang dihasilkan, sehingga porositas membran menurun. Hasil serupa juga dilaporkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Ma

(2011). Pada penelitian tersebut dilakukan studi tentang pengaruh konsentrasi selulosa asetat terhadap porositas membran yang dihasilkan. Berdasarkan hasil yang diperoleh disimpulkan bahwa porositas berbanding terbalik dengan konsentrasi membran. Konsentrasi polimer yang tinggi dalam larutan cetak menghasilkan matriks membran yang cenderung rapat dengan jumlah makrovuid yang rendah (Abedini, dkk, 2011).

Porositas erat kaitannya dengan fluks air yang merupakan faktor utama penentu kinerja membran. Fluks air menunjukkan permeabilitas air murni dari suatu membran. Gambar 4.7 menunjukkan bahwa variasi konsentrasi selulosa asetat pada membran berpengaruh pada fluks air.



Gambar 4.7. Hubungan antara konsentrasi selulosa asetat dengan fluks air

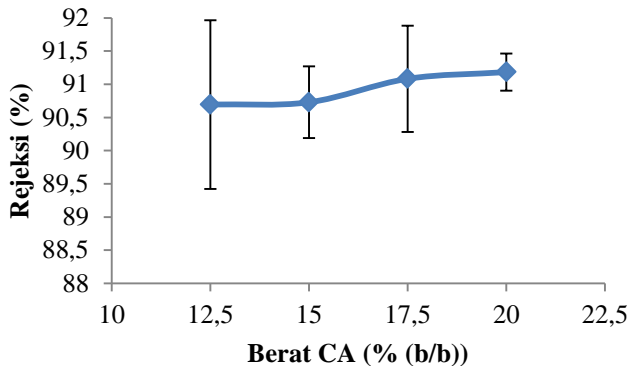
Nilai fluks air menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi selulosa asetat pada membran. Fluks air tertinggi diperoleh pada membran selulosa asetat 12,5%

(b/b), yaitu sebesar 16,46 L/m<sup>2</sup>jam dan yang terendah teramati pada membran selulosa asetat 20% (b/b), yaitu sebesar 8,80 L/m<sup>2</sup>jam. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi selulosa asetat pada larutan cetak meningkatkan kerapatan membran. Membran yang rapat menurunkan porositas, dengan porositas yang rendah, air akan terhambat di permukaan membran karena jumlah makrovoid yang rendah dan ukuran makrovoid yang kecil (Abedini, dkk, 2011).

Pada penelitian ini, membran selulosa asetat digunakan untuk memisahkan zat warna merah Kongo dari air simulasi limbah zat warna melalui uji filtrasi. Merah Kongo merupakan zat warna golongan azo yang memiliki gugus azo ( $R_1-N=N-R_2$ ) dan cincin-cincin aromatik yang tersubstitusi oleh gugus sulfon (Saratale, dkk, 2009). Sebagai salah satu dari zat warna golongan azo, merah Kongo dapat digunakan untuk uji ultrafiltrasi sebagai simulasi pengolahan limbah zat warna dari berbagai industri dewasa ini. Uji ultrafiltrasi ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh konsentrasi selulosa asetat terhadap persen rejeksi larutan merah Kongo.

Peningkatan konsentrasi selulosa asetat dalam larutan cetak sebanding dengan rejeksi terhadap merah Kongo. Berdasarkan Gambar 4.8, dapat diamati bahwa rejeksi merah Kongo tertinggi diperoleh pada membran selulosa asetat 20% (b/b), yaitu sebesar 91,18%, sedangkan rejeksi terendah diperoleh pada membran selulosa asetat 12,5% (b/b), yaitu sebesar 90,70%. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Rajesh (2011). Peningkatan kerapatan membran selulosa asetat menyebabkan tertahannya molekul merah

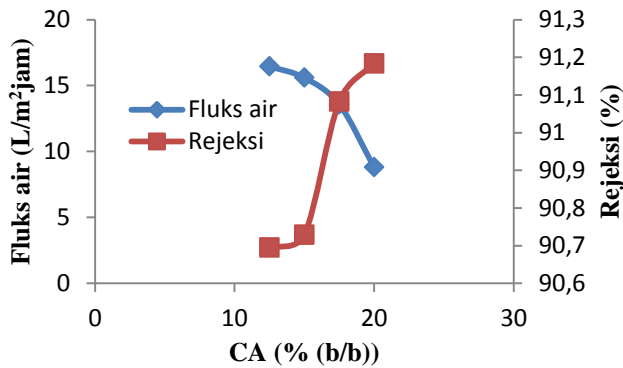
Kongo yang berukuran besar di permukaan membran karena tidak bisa melewati makrovroid membran selulosa asetat yang rapat.



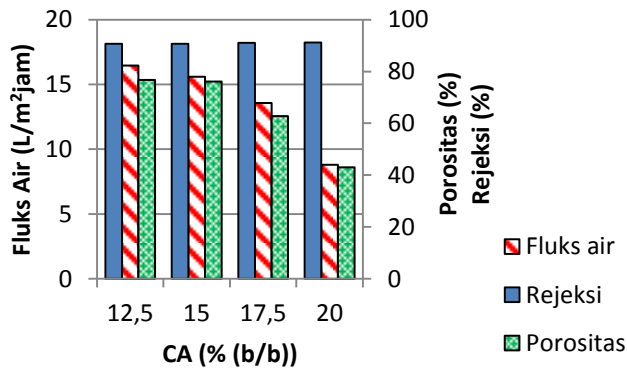
Gambar 4.8. Hubungan antara konsentrasi selulosa asetat dengan rejeksi membran

Porositas, fluks air, dan rejeksi membran menjadi dasar penentuan kinerja membran. Berdasarkan Gambar 4.8, dapat diamati bahwa membran selulosa asetat murni dengan kinerja optimal diperoleh pada saat konsentrasi selulosa asetat mencapai 17,5% (b/b) dengan fluks air sebesar 9,57 L/m<sup>2</sup>jam dan rejeksi merah Kongo sebesar 91,08%. Pengaruh konsentrasi selulosa asetat terhadap porositas, fluks air, dan rejeksi membran dapat diamati pada Gambar 4.10. Berdasarkan Gambar 4.10, dipilih membran selulosa asetat 17,5% sebagai membran optimum dengan porositas sebesar 62,79%, fluks sebesar 9,57 L/m<sup>2</sup>jam, dan rejeksi sebesar 91,08%.





Gambar 4.9. Hubungan konsentrasi CA dengan fluks air dan rejeksi membran



Gambar 4.10. Hubungan konsentrasi CA dengan porositas, fluks air, dan rejeksi membran

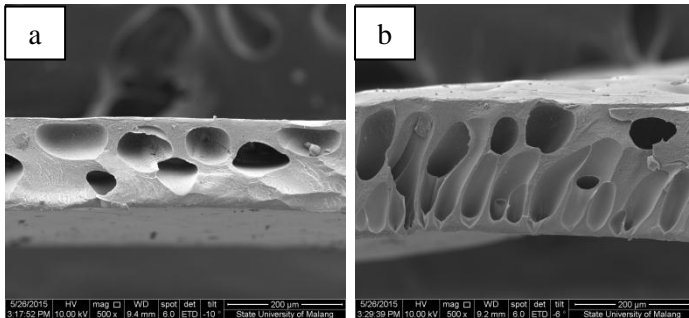
#### 4.2. Variasi Konsentrasi Polietilen Glikol (PEG) 400

Hasil variasi konsentrasi selulosa asetat menunjukkan bahwa membran selulosa asetat 17,5% (b/b) menghasilkan fluks air dan rejeksi merah Kongo yang cukup besar. Oleh karena itu, selanjutnya membran

tersebut dipilih untuk dilakukan penambahan PEG 400 dengan variasi konsentrasi 1%; 2%; 2,5%; dan 3% (b/b). Penambahan PEG 400 pada penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan fluks air pada membran selulosa asetat, karena PEG berperan sebagai aditif yang mampu membentuk makrovoid pada membran selulosa asetat. Membran selulosa asetat dengan aditif PEG dibuat dengan metode inversi fasa rendam endap seperti yang telah dilaporkan oleh Ali, dkk (2011). Pada penelitian ini, serbuk selulosa asetat digunakan sebagai matriks dari membran yang akan dibuat. Sementara PEG 400 digunakan sebagai aditif yang berperan sebagai agen pembentuk pori. Pada proses inversi fasa, terjadi pertukaran antara pelarut dalam membran dengan non-pelarut pada bak koagulasi seperti yang sudah dijelaskan pada bahasan sebelumnya. Pada tahap ini terjadi proses pembentukan pori pada membran CA/PEG akibat kosongnya ruang yang ditinggalkan oleh pelarut. Cepat lambatnya proses pemadatan membran menentukan struktur dan makrovoid yang dihasilkan pada membran. Semakin cepat proses pemadatan, semakin berongga matriks yang dihasilkan dan semakin besar pula pori dan makrovoid yang dihasilkan.

Untuk mengetahui pengaruh penambahan PEG 400 pada morfologi penampang lintang membran selulosa asetat, dilakukan karakterisasi membran yang dihasilkan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Dengan membandingkan membran selulosa asetat murni dan membran CA/PEG diperoleh hasil SEM seperti pada Gambar 4.11. Dari hasil SEM, tampak bahwa pada membran selulosa asetat dengan 2% aditif menunjukkan

jumlah makrovoid yang lebih banyak dan terorientasi dengan baik dibandingkan dengan membran selulosa asetat tanpa PEG. Dengan peningkatan jumlah makrovoid yang teratur ini diharapkan dapat meningkatkan porositas dan fluks air tanpa penurunan rejeksi yang signifikan.

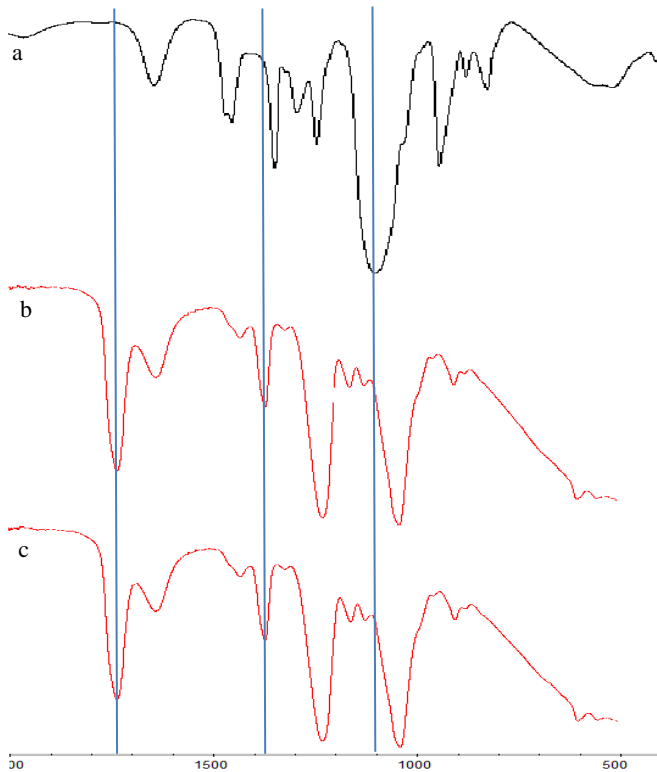


Gambar 4.11. SEM morfologi tampang lintang membran selulosa asetat (a) 17,5% (b/b) dan (b) selulosa asetat/PEG 2% (b/b)

Nampak pada Gambar 4.11a jumlah makrovoid pada membran selulosa asetat 17,5% lebih sedikit jika dibandingkan dengan membran selulosa asetat 20%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan PEG pada membra selulosa asetat berpengaruh terhadap struktur membran, tampak jelas perbedaan antara membran dengan dan tanpa penambahan aditif. Perubahan ini diakibatkan adanya proses *leaching* pada saat pemadatan membran (Sivakumar, dkk, 2005). Hasil pengamatan yang sama juga dilaporkan oleh Abedini, dkk (2011).

Membran selulosa asetat dengan PEG yang dihasilkan juga dikarakterisasi dengan *Fourier Transform*

*Infra Red* (FTIR) untuk mengetahui interaksi antara selulosa asetat dan PEG serta DMAc sebagai pelarut. Spektra FTIR dari membran selulosa asetat dengan PEG dapat diamati pada Gambar 4.12.

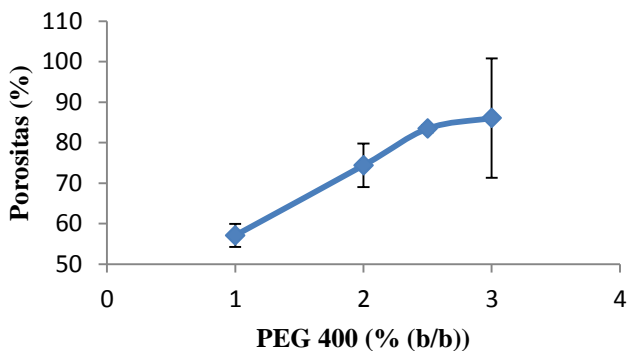


Gambar 4.12. Spektra FTIR PEG (a), membran selulosa asetat (b) membran selulosa asetat/PEG (c)

Nampak puncak tajam pada  $1731\text{ cm}^{-1}$  muncul akibat adanya gerak vibrasi ikatan  $\text{C}=\text{O}$ , dan puncak pada  $1369\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ikatan  $\text{C}-\text{H}$ . Pada

spektra membran selulosa asetat dengan penambahan PEG, tidak nampak banyak perbedaan dari spektra membran selulosa asetat murni. Puncak khas dari PEG pada bilangan gelombang  $1106\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan gerak vibrasi gugus C-O-C juga tidak nampak pada spektra membran selulosa asetat. Hal ini membuktikan bahwa tidak terbentuk gugus fungsi baru setelah penambahan PEG. Hasil serupa juga telah dilaporkan oleh Ali (2010). Pada penelitian tersebut dilaporkan bahwa tidak ditemukan adanya interaksi antara selulosa asetat dengan aditif PEG, yang dibuktikan dengan spektra FTIR yang serupa tanpa ada pergeseran atau munculnya puncak baru.

Porositas membran selulosa asetat dengan penambahan PEG ditentukan untuk mengetahui pengaruh penambahan PEG terhadap porositas membran. Hasil uji porositas membran selulosa asetat dengan penambahan PEG ditampilkan pada Gambar 4.13.



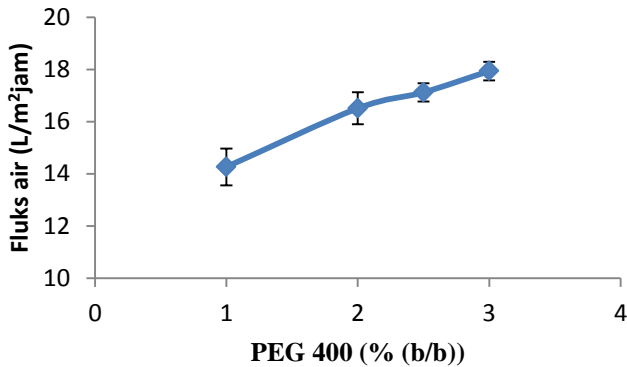
Gambar 4.13. Hubungan antara konsentrasi PEG 400 dengan porositas membran selulosa asetat dengan PEG

Berdasarkan Gambar 4.13, tampak bahwa penambahan PEG 400 pada membran selulosa asetat mampu meningkatkan porositas membran. Semakin besar jumlah PEG 400 yang ditambahkan, semakin besar pula porositas membrannya. Penambahan PEG 400 pada larutan cetak akan menyebabkan terjadinya penurunan kestabilan termodinamik (Han, dkk, 2013). Hal tersebut akan mempercepat proses pemadatan yang terjadi pada membran, sehingga membran cenderung terbentuk secara spontan.

Proses pemadatan membran yang cepat menghasilkan membran dengan makrovoid yang lebih banyak, sehingga porositas membran juga meningkat (Idris & Yet, 2006). Porositas tertinggi diperoleh pada penambahan PEG 400 sebanyak 3% (b/b), yaitu sebesar 86,07%, sedangkan porositas paling rendah diperoleh pada penambahan PEG 400 1% (b/b), yaitu sebesar 57,08%. Porositas membran cenderung naik dengan peningkatan konsentrasi PEG 400. Belum nampak adanya penurunan porositas pada suatu titik tertentu. Hal ini menunjukkan hubungan linier antara konsentrasi PEG dengan porositas membran. Hasil serupa juga dilaporkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Ma (2011). Pada penelitian tersebut diamati pengaruh konsentrasi PEG pada membran Polisulfon (PSf). Semakin besar konsentrasi PEG yang digunakan semakin besar pula porositas membran yang dihasilkan.

Porositas, seperti yang telah dipaparkan sebelumnya erat kaitannya dengan fluks air, dan rejeksi zat warna. Oleh sebab itu, pengaruh penambahan PEG terhadap fluks air dan rejeksi zat warna perlu dipelajari.

Gambar 4.14 menunjukkan pengaruh konsentrasi PEG 400 yang digunakan di dalam larutan cetak terhadap fluks air dari membran yang dihasilkan.



Gambar 4.14. Grafik hubungan antara konsentrasi PEG 400 dengan fluks air

Semakin tinggi konsentrasi PEG 400 dalam membran, semakin tinggi pula fluks air membran yang dihasilkan. Hasil tertinggi diperoleh pada konsentrasi PEG 400 3% sebesar 17,936 L/m²·jam, sedangkan hasil terendah diperoleh pada konsentrasi PEG 400 1% sebesar 14,267 L/m²·jam. Hal ini disebabkan oleh penurunan kestabilan termodinamik akibat penambahan PEG pada membran seperti yang telah dilaporkan oleh Han (2013) dan Kim (1998).

Hasil serupa juga dilaporkan pada penelitian yang dilakukan oleh Sivakumar, dkk (2006). Pada penelitian tersebut, dilaporkan pengaruh penambahan beberapa aditif yang berbeda pada membran selulosa asetat, hasilnya menunjukkan bahwa fluks air meningkat seiring

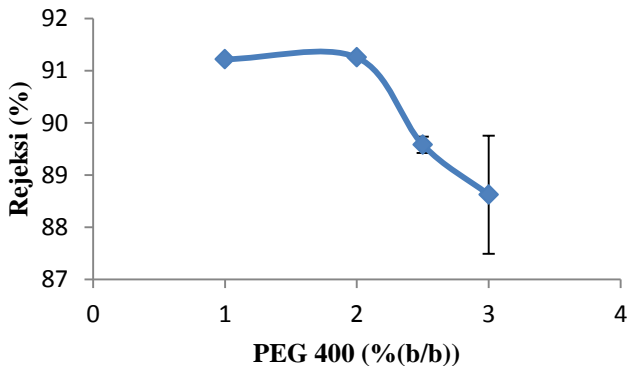
dengan meningkatnya konsentrasi aditif yang ditambahkan. Penelitian lain yang dilakukan oleh Arockiasamy (2013) menunjukkan hasil yang serupa. Pada penelitian tersebut dipelajari pengaruh penambahan PEG dengan berbagai konsentrasi dan berat molekul ke dalam membran selulosa asetat/PSf. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi dan berat molekul PEG yang digunakan, semakin besar pula fluks air membran yang dihasilkan. Hal ini dibuktikan dengan fluks air membran selulosa asetat 17,5% murni sebesar  $15,6 \text{ L/m}^2\text{h}$  dapat ditingkatkan hingga  $26,0 \text{ L/m}^2\text{h}$  dengan penambahan 2,5% PEG 600 (Arockiasamy, dkk, 2009). Penurunan kestabilan termodinamik akan mempercepat proses pemadatan, yang akan berakibat pada terbentuknya membran yang lebih berpori (Kim dan Lee, 1998). Hal ini dibuktikan dengan hasil analisa SEM yang telah dilakukan pada penelitian tersebut.

Permeabilitas (fluks air) dan permselektivitas (rejeksi) umumnya berbanding terbalik. Untuk memastikannya dilakukan uji rejeksi membran terhadap zat warna merah Kongo. Hubungan antara konsentrasi PEG 400 yang ditambahkan dengan rejeksi merah Kongo dapat diamati pada Gambar 4.15. Dari hasil tersebut dapat diamati bahwa rejeksi merah Kongo mencapai maksimum pada konsentrasi PEG 2% sebesar 91,25%, dan yang terendah diperoleh pada konsentrasi PEG 3% sebesar 88,62%. Rejeksi membran selulosa asetat/PEG mencapai optimum pada suatu titik, yang mana pada penelitian ini adalah 2%. Rejeksi akan cenderung turun jika penambahan PEG melebihi titik optimalnya, seperti yang nampak pada penambahan PEG 3%. Hasil serupa juga



dilaporkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Kim (1998). Pada penelitian tersebut dipelajari pengaruh konsentrasi dan berat molekul PEG terhadap berbagai kinerja membran. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini menyatakan bahwa fluks air dan rejeksi saling berbanding terbalik. Penambahan PEG dengan konsentrasi dan berat molekul yang lebih besar akan memperbesar fluks air membran yang dihasilkan, namun hal ini juga menyebabkan penurunan yang cukup signifikan pada rejeksi membran.

Rejeksi merah Kongo mencapai maksimum pada konsentrasi PEG 2% sebesar 91,25%, dan yang terendah diperoleh pada konsentrasi PEG 3% sebesar 88,62%. Rejeksi membran selulosa asetat/PEG mencapai optimum pada konsentrasi PEG 2%. Rejeksi akan cenderung turun jika penambahan PEG melebihi titik optimalnya, seperti yang nampak pada Gambar 4.15.



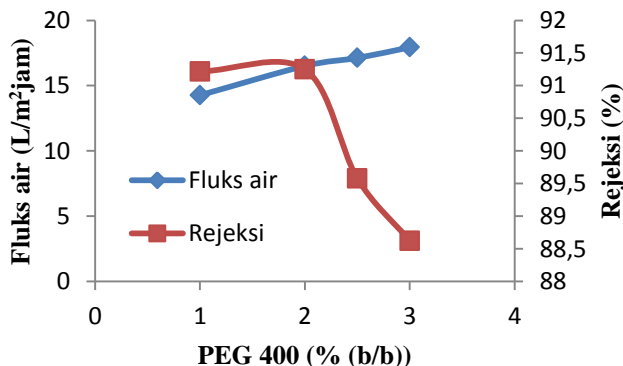
Gambar 4.15. Grafik hubungan antara konsentrasi PEG 400 dengan rejeksi merah Kongo

Hasil serupa juga dilaporkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Kim (1998). Pada penelitian tersebut dipelajari pengaruh konsentrasi dan berat molekul PEG terhadap berbagai kinerja membran. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini menyatakan bahwa fluks air dan rejeksi saling berbanding terbalik. Penambahan PEG dengan konsentrasi dan berat molekul yang lebih besar akan memperbesar fluks air membran yang dihasilkan, namun hal ini juga menyebabkan penurunan yang cukup signifikan pada rejeksi membran.

Hasil sebaliknya diperoleh pada penelitian yang dilaporkan oleh Kim (2004). Serupa pada penelitian sebelumnya, dipelajari pengaruh PEG 200 terhadap kinerja membran PEI. Namun pada penelitian yang dilakukan oleh Kim (2004) tersebut diperoleh kesimpulan yang berkebalikan dengan sebelumnya. Hal tersebut dikarenakan PEG 200 berfungsi sebagai bahan pembentuk pori. Akan tetapi karena ukuran pori PEI murni yang lebih besar dari PEG 200, maka pori yang dihasilkan pada membran yang ditambahkan dengan PEG 200 akan menghasilkan pori yang lebih kecil jika dibandingkan dengan membran PEI murni. Selain itu, PEG dengan berbagai berat molekul memiliki kegunaannya masing-masing, seperti PEG 400 yang berfungsi untuk membentuk pori, meningkatkan porositas, meningkatkan ukuran pori, dan membentuk makrovoid. Sementara itu, PEG 200 berfungsi sebagai pembentuk pori yang lebih kecil, dengan kata lain pori yang dihasilkan berukuran relatif sama dengan ukuran PEG 200 (Kim & Lee, 2004). Hal ini dapat dibuktikan dengan meningkatnya rejeksi membran PEI/PEG 200 yang disertai penurunan PWF

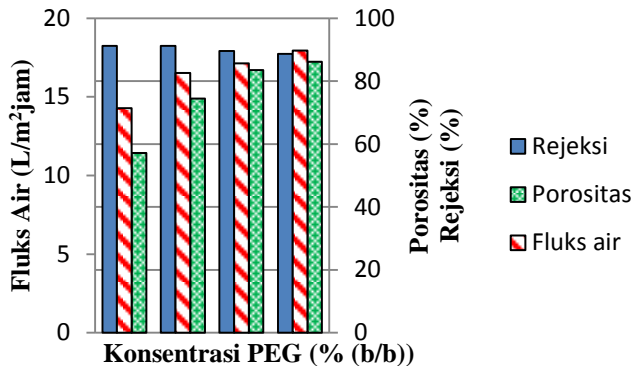
akibat penambahan konsentrasi PEG 200 yang digunakan. Rejeksi membran naik dari 22% menjadi 88% pada konsentrasi PEG 200 sebesar 16 %. Peningkatan nilai rejeksi pada penelitian tersebut dikarenakan perubahan ukuran pori PEI menjadi lebih kecil dari aslinya yang dibuktikan dengan hasil SEM yang telah diperoleh oleh Kim (2004).

Berdasarkan data fluks air dan rejeksi yang telah diperoleh pada penelitian ini dapat ditarik suatu hubungan antara konsentrasi PEG 400 yang digunakan dan fluks air dan rejeksi merah Kongo. Hubungan tersebut dapat diamati pada Gambar 4.16. Dari gambar tersebut dapat diamati bahwa fluks air dan rejeksi cenderung berbanding terbalik. Semakin tinggi fluks air yang dihasilkan, semakin kecil rejeksi merah Kongo yang dihasilkan. Hal ini dapat terjadi karena fluks air akan meningkat dengan meningkatnya porositas dan ukuran pori membran.



Gambar 4.16. Hubungan konsentrasi PEG dan fluks air dan rejeksi membran

Sementara itu, rejeksi merah Kongo akan menurun seiring dengan kenaikan ukuran pori membran. Hal inilah yang mendasari pemilihan membran dengan kinerja optimum.



Gambar 4.17. Hubungan konsentrasi PEG dengan porositas, fluks air, dan rejeksi membran

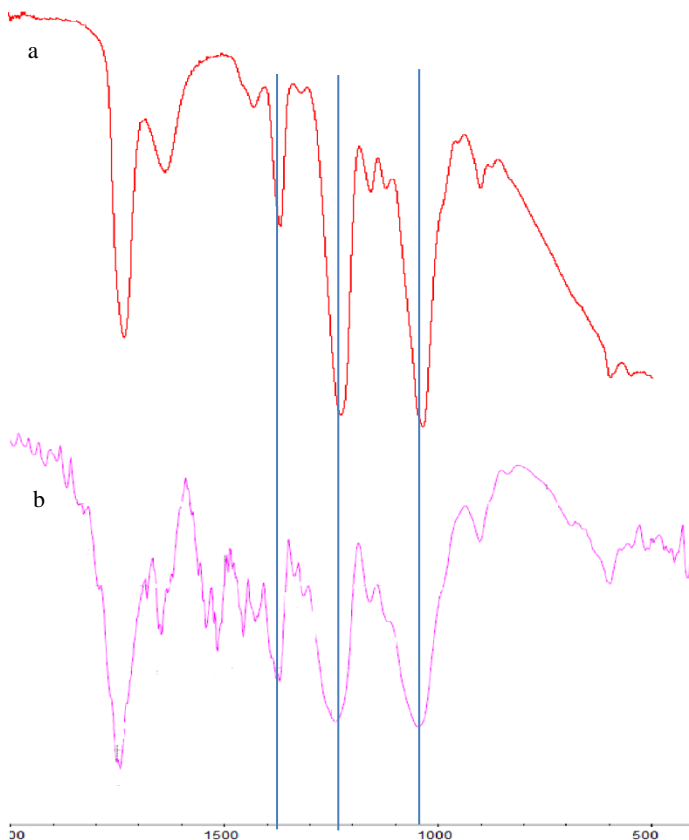
Membran yang akan digunakan selanjutnya diharapkan memiliki fluks air dan rejeksi merah Kongo yang tinggi. Dari Gambar 4.17, dipilih membran selulosa asetat/PEG 2% dengan fluks air yang relatif tinggi sebesar 16,5 L/m<sup>2</sup>h dan rejeksi merah Kongo yang tinggi sebesar 91,25% untuk variasi berikutnya.

#### 4.3. Variasi Perendaman dengan Asam Sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

Hasil variasi penambahan PEG 400 pada larutan cetak menunjukkan bahwa fluks air dan rejeksi merah Kongo optimum tercapai pada membran selulosa asetat dengan penambahan 2% PEG 400. Oleh karena itu, dipilih membran selulosa asetat 17,5% dengan 2% PEG untuk dilakukan perendaman dengan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M dengan variasi waktu perendaman 30, 60, 90, dan 120

menit. Perendaman membran dalam larutan sulfat bertujuan untuk memberikan muatan negatif pada membran karena adanya gugus sulfat yang dimiliki oleh  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (Ma, dkk, 2000). Pada penelitian ini membran yang direndam diharapkan dapat tersulfonasi dengan perendaman  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sehingga dapat dihasilkan membran dengan muatan negatif. Dengan demikian zat warna merah Kongo yang bermuatan negatif dapat tertahan dengan lebih baik. Waktu perendaman menjadi faktor yang menentukan kinerja membran setelah perendaman, terutama dari faktor rejeksinya. Semakin lama waktu perendaman, semakin banyak gugus sulfat yang menempel pada membran. Oleh karena itu, rejeksi membran terhadap zat warna merah Kongo yang bermuatan negatif meningkat (Ma, dkk, 2000).

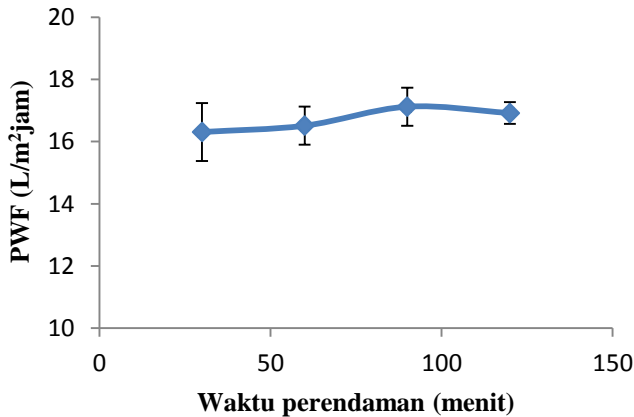
Untuk mengetahui pengaruh perendaman  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pada gugus fungsi yang ada pada membran selulosa asetat/PEG, dilakukan karakterisasi membran yang dihasilkan dengan menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Dengan membandingkan spektra dari membran selulosa asetat yang telah ditambahkan dengan PEG dan membran selulosa asetat yang telah ditambahkan PEG dan direndam dalam  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , diperoleh hasil seperti yang tersaji pada Gambar 4.18. Dari hasil yang telah diperoleh, tidak tampak adanya pergeseran puncak atau munculnya puncak baru pada spektra FTIR membran yang sudah direndam. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perubahan pada gugus fungsi yang ada pada membran.



Gambar 4.18. Spektra FTIR membran CA/PEG (a)  
CA/PEG-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (b)

Perendaman H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diharapkan dapat meningkatkan rejeksi membran tanpa mengurangi kinerja membran yang lain seperti fluks air. Oleh sebab itu perlu dipelajari pengaruh yang diberikan akibat perendaman H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pada fluks air membran. Gambar 4.19

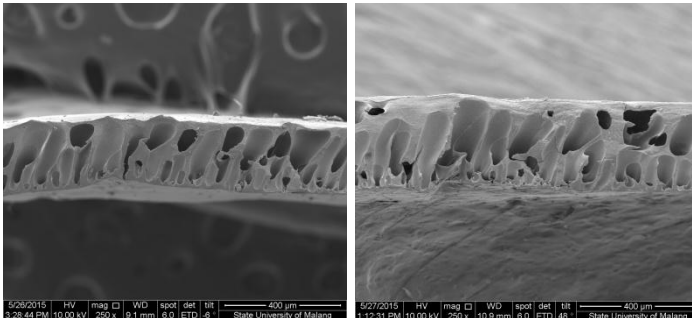
menunjukkan pengaruh waktu perendaman  $\text{H}_2\text{SO}_4$  terhadap fluks air membran.



Gambar 4.19. Hubungan antara waktu perendaman  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan fluks air

Setelah perendaman membran dalam  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , fluks air membran cenderung tidak berubah. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh perendaman  $\text{H}_2\text{SO}_4$  terhadap morfologi membran dan porositasnya. Berdasarkan Gambar 4.19, dapat diamati bahwa fluks air tertinggi diperoleh pada membran selulosa asetat/PEG 2% dengan perendaman  $\text{H}_2\text{SO}_4$  selama 90 menit sebesar 17,12  $\text{L/m}^2\text{jam}$ , sedangkan yang terendah diperoleh pada perendaman selama 30 menit sebesar 16,3  $\text{L/m}^2\text{jam}$ . Nilai tersebut tidak jauh berbeda dengan fluks air membran selulosa asetat/PEG sebelum direndam dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yaitu sebesar 16,5  $\text{L/m}^2\text{jam}$ . Hal ini dapat dibuktikan dengan hasil SEM yang tersaji pada Gambar 4.20. Berdasarkan Gambar 4.20, dapat diamati bahwa tidak ada

perubahan signifikan pada morfologi dan membran dan porositasnya, yang ditunjukkan dengan porositas membran yang tidak jauh berbeda.

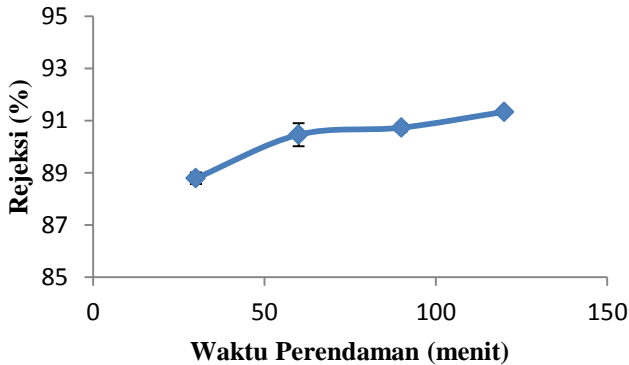


Gambar 4.20. Hasil SEM tampak lintang membran CA/PEG 2% (a) dan CA/PEG 2% dengan perendaman  $H_2SO_4$  120 menit (b)

Setelah diketahui hubungan antara waktu perendaman  $H_2SO_4$  dengan fluks air, maka diamati hubungan dengan rejeksi merah Kongo. Hubungan antara waktu perendaman  $H_2SO_4$  terhadap rejeksi zat warna merah Kongo dapat diamati pada Gambar 4.21. Dari gambar tersebut dapat diamati bahwa semakin lama waktu perendaman yang dilakukan semakin tinggi pula rejeksi membran terhadap zat warna merah Kongo. Rejeksi terhadap merah Kongo tertinggi diperoleh pada membran selulosa asetat/PEG dengan perendaman selama 120 menit sebesar 91,33% sedangkan hasil terendah diperoleh pada membran selulosa asetat/PEG dengan perendaman selama 30 menit sebesar 88,79%. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Kimura (2004). Hasil tersebut



menampakkan kecenderungan waktu perendaman untuk berhubungan linier dengan rejeksi merah Kongo.

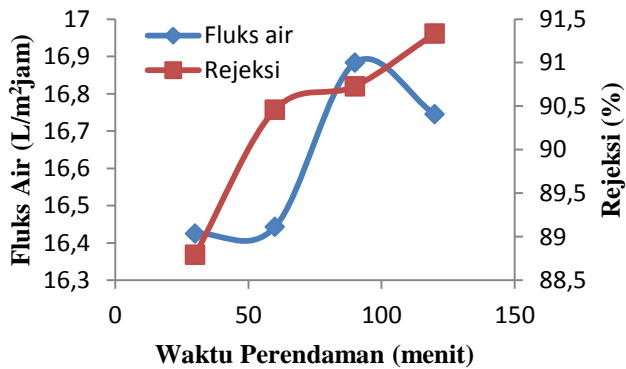


Gambar 4.21. Grafik hubungan antara waktu perendaman  $H_2SO_4$  dengan rejeksi merah Kongo

Berdasarkan data fluks air dan rejeksi yang telah diperoleh, dapat dibuat suatu grafik yang menghubungkan ketiga factor yaitu waktu perendaman, fluks air, dan rejeksi merah Kongo. Hubungan antara ketiganya dapat diamati pada Gambar 4.22.

Hubungan fluks air dan rejeksi membran terhadap merah Kongo memiliki suatu titik optimum. Berdasarkan Gambar 4.22, dapat diamati bahwa waktu perendaman tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap fluks air, namun cukup berpengaruh pada rejeksi membran. Oleh sebab itu berdasarkan data yang telah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa membran dengan kinerja optimum dicapai pada membran CA/PEG dengan waktu perendaman 120 menit. Membran ini memiliki fluks air

sebesar 16,917 L/m<sup>2</sup>jam dan rejeksi terhadap merah Kongo sebesar 91,33%.



Gambar 4.22. Hubungan waktu perendaman dengan fluks air dan rejeksi membran

## **BAB V KESIMPULAN**

### **1.1 5.1. Kesimpulan**

Telah dibuat membran hibrid CA/PEG-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan menggunakan metode inversi fasa rendam endap dengan PEG sebagai agen pembentuk pori dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebagai pemberi muatan negatif pada membran. Untuk aplikasi membran ultrafiltrasi zat warna merah Kongo, membran hibrid CA/PEG-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> diuji fluks air dan rejeksinya. Pengujian dilakukan dengan modul ultrafiltrasi *dead end* dengan tekanan 2 bar pada pengadukan konstan. Membran yang diuji memiliki beberapa variasi komposisi, yaitu konsentrasi selulosa asetat pada 12,5%; 15%; 17,5%; dan 20% (b/b). Konsentrasi PEG 400 yang digunakan yaitu 1%; 2%; 2,5%; dan 3%, sedangkan waktu perendaman H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yaitu 30, 60, 90, 120 menit. Kinerja membran optimum dicapai pada membran CA(17,5%)/PEG(2%)-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(120 menit) dengan fluks sebesar 16,92 L/m<sup>2</sup>jam dan rejeksi sebesar 91,33%.

Peningkatan konsentrasi selulosa asetat pada larutan cetak menurunkan porositas membran, sedangkan penambahan PEG pada larutan cetak terbukti meningkatkan porositas membran yang dihasilkan. Dan perendaman dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> menunjukkan peningkatan rejeksi membran dan sifat anti penyumbatan terhadap merah Kongo.

### **1.2 5.2. Saran**

Rejeksi membran ultrafiltrasi ini masih di bawah standar yang ditetapkan oleh *Department of Health* (DoH) yaitu sebesar 5 ppm. Oleh karena itu perlu dilakukan studi lebih lanjut antara lain mengenai :

1. Dilakukan modifikasi tambahan berupa blending dengan polimer lain yang dapat memberikan gugus bermuatan negatif untuk meningkatkan rejeksi membran terhadap merah Kongo.
2. Dilakukan coating dengan material lain seperti  $\text{CaCO}_3$  yang dapat meningkatkan rejeksi membran terhadap merah Kongo.
3. Dilakukan blending atau penambahan aditif yang bersifat hidrofilik sehingga dapat meningkatkan fluks membran tanpa menurunkan rejeksinya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abedini, R., Mousavi, S. M., & Aminzadeh, R. (2011). A novel cellulose acetate (CA) membrane using TiO<sub>2</sub> nanoparticles: Preparation, characterization and permeation study. *Desalination*, 40-45.
- Acuner, E., & Dilek, F. B. (2004). Treatment of tectilon yellow 2G by *Chlorella vulgaris*. *Process Biochem.*
- Allen, S., & Koumanova, B. (2005). Decolorisation of water/wastewater using adsorption. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 175-192.
- Arockiasamy, D. L., Nagendran, A., Shobana, K. H., & Mohan, D. (2009). Preparation and Characterization of Cellulose Acetate/Aminated Polysulfone Blend Ultrafiltration Membranes and their Application Studies. *Separation Science and Technology*, 398-421.
- Artanareeswaran, G., Thanikaivelan, P., Srinivasn, K., Mohan, D., & Rajendran, M. (2004). Synthesis, characterization and thermal studies on cellulose acetate membranes with additives. *Eur. Polym. J.*, 2153-2159.
- Ashik, D. M. (2012). Dye removal by thin film composite (TFC) membrane produced through interfacial polymerization technique.
- Boussu, K. (2006). Characterization of commercial nanofiltration membranes and comparison with self-made polyethersulfone membranes. *Desalination*, 245-253.
- Bruice, P. (2001). *Organic Chemistry*. New Jersey: Prentice Hall International Inc.
- Chang, Q. B., Zhou, J. E., Wang, Y. Q., Liang, J., Zhang, X. Z., Cemeaux, S., et al. (2014). Application of

- ceramic microfiltration membrane modified by nano-TiO<sub>2</sub> coating and separation of a stable oil-in-water emulsion. *Journal of Membrane Science*, 128-133.
- Chen, X. N., Wan, L. S., Wu, Q. Y., Zhi, S. H., & Xu, Z. K. (2013). Mineralized polyacrylonitrile-based ultrafiltration membranes with improved water flux and rejection towards dye. *Journal of Membrane Science*.
- Dabrowski, A. (2001). Adsorption--from theory to practice. *Advances in Colloid and Interface Science*, 135.
- Ertugay, N., & Acar, F. N. (2013). Removal of COD and color from Direct Blue 71 azo dye wastewater by Fenton's oxidation: Kinetic study. *Arabian Journal of Chemistry*.
- Ewing, G. (1985). *Instrumental Methods of Chemical Analysis*. New York: McGraw Hill Book Company.
- Galanakis, C. M., Fountoulis, G., & Gekas, V. (2012). Nanofiltration of brackish groundwater by using a polyepiperazine membrane. *Desalination*, 2407-2413.
- Gedde, U. W. (1995). *Polymer Physics (Edisi Pertama ed.)*. London: Chapman & Hall.
- Ghoreishi, S., & Haghighi, R. (2003). Chemical catalytic reaction and biological oxidation for treatment of non-biodegradable textile effluent. *Chemical Engineering Journal*, 163-169.
- Gong, R., Li, M., Yang, C., Sun, Y., & Chen, J. (2005). Removal of cationic dyes from aqueous solution by adsorption on peanut hull. *Journal of Hazardous Materials*, 247-250.
- Gullen, G. R., Pan, Y., Li, M., & Hoek, E. M. (2011). Preparation and characterization of membrane

- formed by nonsolvent induced phase separation: a review. *Ind Eng Chem Res*, 3798-3817.
- Han, B., Zhang, D., Shao, Z., Kong, L., & Lv, S. (2013). Preparation and characterization of cellulose acetate/carboxymethyl cellulose blend ultrafiltration membranes. *Desalination*, 80-89.
- Hunger, K. (2003). *Industrial Dyes Chemistry, Properties, Applications*. Weinheim: Wiley-VchVerlag GmbH & Co.
- Idris, A., & Yet, L. K. (2006). The effect of different molecular weight PEG additives on cellulose acetate asymmetric dialysis membrane performance. *Journal of Membrane Science*, 920-927.
- Izadpanah, A. A., & Javidnia, A. (2012). The ability of a nanofiltration membrane to remove hardness and ions from diluted seawater. *Water*, 283-294.
- Jain, R., & Sikarwar, S. (2008). Removal of hazardous dye congo red from waste material. *Journal of Hazardous Material*, 942-948.
- Keerthi, W., & Balasubramanian, N. (2013). Removal of heavy metals by hybrid electrocoagulation and microfiltration processes. *Environmental Technology*.
- Kim, J. H., & Lee, K. H. (1998). Effect of PEG additive on membrane formation by phase inversion. *Journal of Membrane Science*.
- Kim, J. H., & Lee, K. H. (1998). Effect of PEG additive on membrane formation by phase inversion. *J. Membr. Sci.*, 153-163.
- Kimura, K., Hane, Y., Watanabe, Y., Amy, G., & Ohkuma, N. (2004). Irreversible membrane fouling during ultrafiltration of surface water. *Water Res*, 3431-3441.

- Lau, W. J., Goh, P. S., Ismail, A., & Lai, S. (2014). Ultrafiltration as a pretreatment for seawater desalination: a review. *Membrane Water Treatment*, 15-29.
- Liu, H., Koops, G. H., & Strathmann, H. (2003). Characterization of morphology controlled polyethersulphone hollow fiber membranes by the addition of polyethylene glycol to the dope and bore liquid solution. *Hournal of Membrane Science*, 187-199.
- Luo, Y. L., Guo, W. S., Ngo, H. H., Nghiem, L. D., Hai, F. I., Zhang, J., et al. (2014). A review on the occurence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. *Science Total Environment*, 619-641.
- Ma, Y., Shi, F., Ma, J., Wu, M., Zhang, J., & Gao, C. (2011). Effect of PEG additive on the morphology and performance of polysulfone ultrafiltration membranes. *Desalination*, 51-58.
- Mariam, S. (2015). Removal of Dyestuff from Aqueous Solution Using Layered Double Hydroxide. 15.
- Mohammadi, T., & Saljoughi, E. (2009). Effect of production conditions on morphology and permeability of asymmetric cellulose acetate membranes. *Desalination*, 1-7.
- Ng, L. Y., Ahmad, A., & Mohammad, A. W. (2012). Alteration of polyethersulphone membranes through UV-induced modification using various materials: A brief review. *Arabian Journal of Chemistry*.
- P., B. (2001). *Organic Chemistry*. New Jersey: Prentice Hall International Inc.
- Raffin, M., Germain, E., & Judd, S. (2012). Wastewater polishing using membrane technology: A review



- of existing installations. *Environment Technology*, 617.
- Rahimpour, A. (2011). UV photo-grafting of hydrophilic monomers onto the surface of nano-porous PES membranes for improving surface properties. *Desalination*, 93-101.
- Rajesh, S., Maheswari, P., Senthilkumar, S., Jayalakshmi, A., & Mohan, D. (2011). Preparation and characterization of poly (amide-imide) incorporated cellulose acetate membranes for polymer enhanced ultrafiltration of metal ions. *Chem Eng*, 33-44.
- Rosa, M. J., & de Pinho, M. N. (1997). Membrane surface characterisation by contact angle measurements using the immersed method. *Journal of Membrane Science*, 167-180.
- Saljoughi, E., Amirilargani, M., & Mohammadi, T. (2009). Effect of poly(vinyl pyrrolidone) concentration and coagulation bath temperature on the morphology, permeability, and thermal stability of asymmetric cellulose acetate membranes. *J. Appl. Polym. Sci.* 111, 2537–2544.
- Saljoughi, E., Amirilargani, M., & Mohammadi, T. (2011). Effect of poly(vinyl pyrrolidone) concentration and coagulation bath temperature on the morphology, permeability and thermal stability of asymmetric cellulose acetate membranes. *J. Appl. Polym. Sci.*
- Salleh, M. A. (2011). Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid waste: A comprehensive review. *Desalination*, 1-13.
- Shrinivasan, A., & Viraraghavan, T. (2010). Decoloration of dye wastewaters by biosorbers: A review. *Journal of Environmental Management*, 1915-1929\.

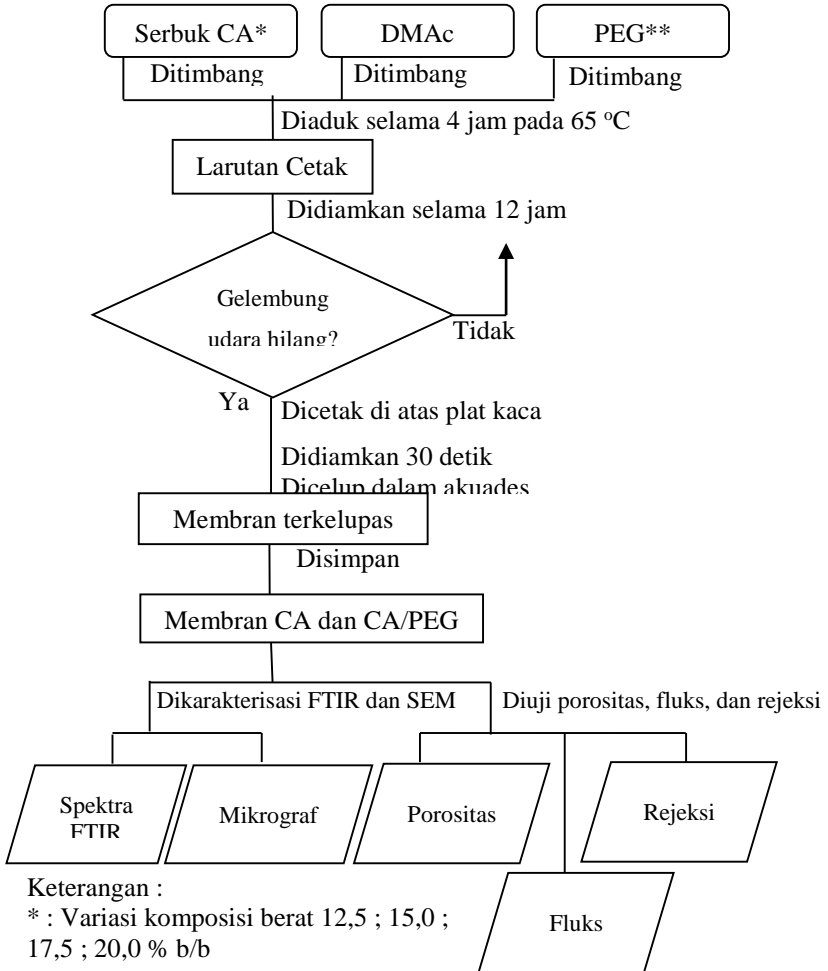
- Sibilia, P. (1996). *Guide to Material Characterization and Chemical Analysis, 2nd Edition*. New York: John Wiley-VCH.
- Sivakumar, M., Mohan, D. R., & Rangarajan, R. (2006). Studies on cellulose acetate-polysulfone ultrafiltration membranes II. Effect of additive concentration. *Journal of Membrane Science*, 208-219.
- Sivakumar, M., Mohansundaram, A. K., Mohan, D., Balu, K., & Rangarajan, R. (1998). Modification of CA: its characterization and application as UF membranes. *Journal of Applied Polymer Science*, 1939-1946.
- Sivakumar, M., Rangarajan, R., Mohan, D., & Tsujita, Y. (2005). Studies on cellulose acetate-polysulfone ultrafiltration membranes: I. Effect of polymer composition. *Polym. Int*, 956-962.
- Tripathi, S. K., Tyagi, R., & Nandi, B. K. (2013). Removal of residual surfactants from laundry wastewater: a review. *Journal of Disperse Science Technology*, 1526-1534.
- Wang, D.-M., & Lai, J.-Y. (2013). Recent advances in preparation and morphology control of polymeric membranes formed by nonsolvent induced phase separation. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 229-237.
- Wendler, B., Wolters, R., Bottger, D., & Stille, U. (2013). Microfiltration processes for continuous removal of solid particles from cold-rolling emulsions. *Chemical Engineering Technology*, 1248-1253.
- Yagub, M. T., Sen, T. K., Afroze, S., & Ang, H. M. (2014). Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*.

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran A. Preparasi Membran.....	71
Lampiran B. Perhitungan.....	72
Lampiran C. Data Uji.....	75
Lampiran D. Data dan Grafik Hasil Karakterisasi .....	82

## LAMPIRAN

### Lampiran A Preparasi Membran CA dan CA/PEG

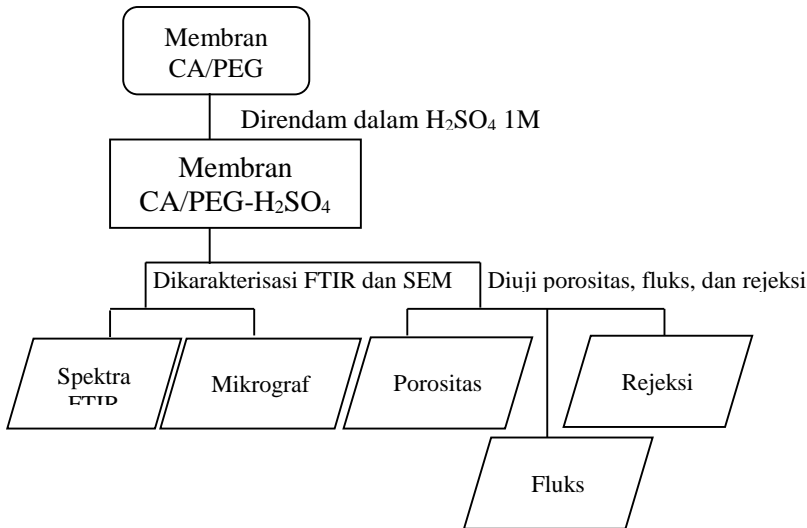


Keterangan :

\* : Variasi komposisi berat 12,5 ; 15,0 ;  
17,5 ; 20,0 % b/b

\*\* : Variasi komposisi berat 0 ; 1,0 ; 2,0  
; 2,5 ; 3,0 % b/b

## Preparasi Membran CA/PEG-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



## Lampiran B

### Perhitungan

#### B.1. Komposisi Bahan Membran CA Murni

Berat total larutan cetak yang akan digunakan pada tahap preparasi membran adalah 50 gram. Pada penelitian ini komposisi bahan yang digunakan dihitung berdasarkan persen beratnya dalam larutan cetak, maka komposisi bahan yang digunakan adalah sebagai berikut.

Jika selulosa asetat yang akan digunakan sebanyak 20%, maka,

$$\begin{aligned} m \text{ CA} &= 20\% \times 50 \text{ gram} \\ &= 10 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m \text{ DMAc} &= 80\% \times 50 \text{ gram} \\ &= 40 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V \text{ DMAc} &= m / \rho \\
 &= 40 \text{ gram} / 0,94 \text{ gram mL}^{-1} \\
 &= 42,6 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama, komposisi lain dapat ditabelkan sebagai berikut

Tabel B.1. Komposisi Membran Selulosa Asetat

CA (%)	m CA (gram)	V DMAc (gram)
12,5	6,25	46,5
15	7,5	45,2
17,5	8,75	43,9
20	10	42,6

## B.2. Komposisi Bahan Membran CA/PEG

Berat total larutan cetak yang akan digunakan pada tahap preparasi membran adalah 50 gram. Pada penelitian ini komposisi bahan yang digunakan dihitung berdasarkan persen beratnya dalam larutan cetak, maka komposisi bahan yang digunakan adalah sebagai berikut.

Jika selulosa asetat yang akan digunakan sebanyak 17,5%, dan PEG yang digunakan sebanyak 1% maka

$$\begin{aligned}
 m \text{ CA} &= 17,5\% \times 50 \text{ gram} \\
 &= 8,75 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m \text{ PEG} &= 1\% \times 50 \text{ gram} \\
 &= 0,5 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m \text{ DMAc} &= 81,5\% \times 50 \text{ gram} \\
 &= 40,75 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V \text{ DMAc} &= m / \rho \\
 &= 40,75 \text{ gram} / 0,94 \text{ gram mL}^{-1} \\
 &= 43,4 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama, komposisi lain dapat ditabelkan sebagai berikut

Tabel B.2. Komposisi Membran Selulosa asetat/PEG

PEG (%)	m CA (g)	V DMAc (g)	m PEG (g)
1	8,75	43,4	0,5
2	8,75	42,82	1
2,5	8,75	42,6	1,25
3	8,75	42,29	1,5

### B.3. Preparasi Larutan Induk Merah Kongo

Larutan induk merah Kongo dibuat dengan konsentrasi 1000 ppm untuk kemudian diencerkan kembali dan digunakan sebagai larutan standar. Maka Cr yang digunakan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{ppm} &= m \text{ (mg)} / V \text{ (L)} \\
 1000 \text{ ppm} &= m \text{ (mg)} / 1 \text{ L} \\
 m \text{ (mg)} &= 1000 \text{ ppm} \times 1 \text{ L} \\
 &= 1000 \text{ mg}
 \end{aligned}$$

### B.4. Preparasi Larutan Feed 50 ppm

Larutan feed merah Kongo dibuat dengan mengencerkan larutan induk 1000 ppm menjadi 50 ppm dengan perhitungan berikut :

$$\begin{aligned}
 V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\
 V_1 \times 1000 \text{ ppm} &= 100 \text{ mL} \times 50 \text{ ppm} \\
 V_1 &= (100 \text{ mL} \times 50 \text{ ppm}) / 1000 \text{ ppm} \\
 V_1 &= 5 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

### B.5. Preparasi Larutan Standar Merah Kongo

Larutan standar merah Kongo dibuat dengan pengenceran larutan induk hingga, mencapai konsentrasi yang mendekati konsentrasi filtrat. Dengan perhitungan yang sama seperti pada pembuatan larutan feed merah Kongo, maka dapat diperoleh tabel berikut

Tabel B.3. Volume Larutan Induk yang Dibutuhkan

Konsentrasi standar (ppm)	Volum larutan induk (mL)
3	0,3
6	0,6
9	0,9
12	1,2
15	1,5

## Lampiran C

### Data Uji

#### C.1. Porositas Membran

Membran dari semua variasi komposisi diuji porositasnya dan dihitung menggunakan Persamaan 3.1. Dari perhitungan yang telah dilakukan, dapat diperoleh data pada Tabel C.1 dan Tabel C.2.

Tabel C.1. Porositas Membran Selulosa Asetat

CA (%)	W <sub>w</sub> (g)	W <sub>d</sub> (g)	A (cm <sup>2</sup> )	T (cm)	Porositas	Porositas rata-rata
12,5	0,036	0,0086	4	0,009	76,26	76,71
	0,035	0,0087	4	0,0092	71,61	
	0,04	0,0088	4	0,0095	82,27	
15	0,0546	0,0113	4	0,0141	76,93	76,09
	0,0529	0,0109	4	0,0129	81,56	
	0,0495	0,0119	4	0,0135	69,77	



17,5	0,0591	0,0207	4	0,0162	59,38	62,80
	0,06	0,018	4	0,0159	66,17	
	0,064	0,0186	4	0,0181	62,83	
20	0,0766	0,0225	4	0,0297	45,63	43,03
	0,0786	0,0229	4	0,032	43,60	
	0,0681	0,0221	4	0,0289	39,03	

Tabel C.2. Porositas Membran Selulosa Asetat/PEG

PEG (%)	W <sub>w</sub> (g)	W <sub>d</sub> (g)	A (cm <sup>2</sup> )	T (cm)	Porositas	Porositas rata-rata
1	0.0717	0.0149	4	0.024	59.17	57.08
	0.0661	0.0144	4	0.024	53.85	
	0.0728	0.0169	4	0.024	58.23	
2	0.094	0.0169	4	0.024	80.31	74.38
	0.0879	0.0178	4	0.024	73.02	
	0.0844	0.0174	4	0.024	69.79	
2.5	0.0961	0.0167	4	0.024	82.71	83.44
	0.0992	0.0181	4	0.024	84.48	
	0.0953	0.0155	4	0.024	83.13	
3	0.118	0.023	4	0.024	98.96	86.08
	0.1062	0.0205	4	0.024	89.27	
	0.0852	0.018	4	0.024	70,00	

## C.2. Fluks Air

Membran dari semua variasi komposisi diuji fluks air dan dihitung hasilnya dengan Persamaan 3.2. Dari perhitungan yang telah dilakukan, dapat diperoleh data pada Tabel C.3, Tabel C.4, dan Tabel C.5.

Tabel C.3. Fluks Air Membran Selulosa Asetat

CA (%)	A (m <sup>2</sup> )	Q (L)	T (h)	J (L/m <sup>2</sup> ·jam)	J rata-rata
20	0.001963	0.0018	0.167	5.50	6.22
	0.001963	0.0021	0.167	6.42	
	0.001963	0.0022	0.167	6.73	
17.5	0.001963	0.0032	0.167	9.78	9.58
	0.001963	0.0032	0.167	9.78	
	0.001963	0.003	0.167	9.17	
15	0.001963	0.0044	0.167	13.45	11.01
	0.001963	0.0024	0.167	7.34	
	0.001963	0.004	0.167	12.23	
12.5	0.001963	0.0036	0.167	11.01	11.62
	0.001963	0.004	0.167	12.23	
	0.001963	0.0038	0.167	11.62	

Tabel C.4. Fluks Air Membran Selulosa Asetat/PEG

PEG (%)	A (m <sup>2</sup> )	Q (L)	T (jam)	J (L/m <sup>2</sup> ·jam)	J rata-rata
1	0.001963	0.0044	0.167	13.45	14.27
	0.001963	0.0048	0.167	14.68	
	0.001963	0.0048	0.167	14.68	
2	0.001963	0.0056	0.167	17.12	16.51
	0.001963	0.0054	0.167	16.51	
	0.001963	0.0052	0.167	15.90	
3	0.001963	0.0058	0.167	17.73	17.94
	0.001963	0.0058	0.167	17.73	
	0.001963	0.006	0.167	18.34	
2.5	0.001963	0.0056	0.167	17.12	17.32
	0.001963	0.0056	0.167	17.12	
	0.001963	0.0058	0.167	17.73	

Tabel C.5. Fluks Air Membran Selulosa Asetat/PEG-  
H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

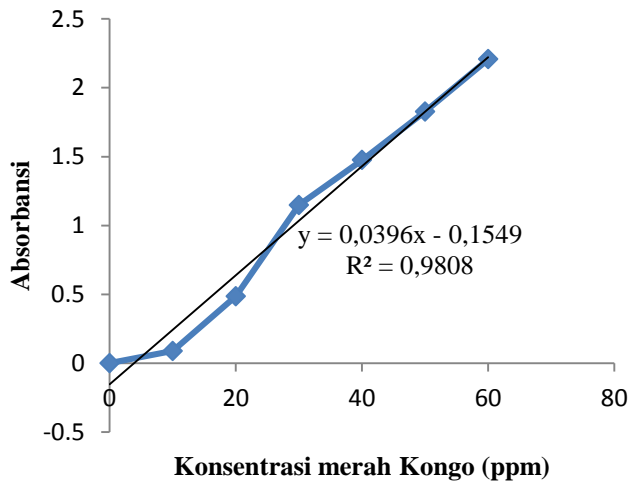
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (menit)	A (m <sup>2</sup> )	Q (L)	T (jam)	J (L/m <sup>2</sup> jam)	J rata- rata
30	0.001963	0.0054	0.167	16.51	16.31
	0.001963	0.005	0.167	15.29	
	0.001963	0.0056	0.167	17.12	
60	0.001963	0.0056	0.167	17.12	16.51
	0.001963	0.0052	0.167	15.90	
	0.001963	0.0054	0.167	16.51	
90	0.001963	0.0058	0.167	17.73	17.12
	0.001963	0.0056	0.167	17.12	
	0.001963	0.0054	0.167	16.51	
120	0.001963	0.0056	0.167	17.12	16.92
	0.001963	0.0056	0.167	17.12	
	0.001963	0.0054	0.167	16.51	

### C.3. Rejeksi *Congo Red* (CR)

Membran dari semua variasi komposisi diuji rejeksinya terhadap zat warna *Congo Red* (CR) dan dihitung dengan Persamaan 3.3. Konsentrasi permeat diperoleh dengan melakukan perhitungan setelah diperoleh kurva standar kalibrasi pada Gambar C.1, yang diperoleh dari data absorbansi larutan standar merah Kongo pada Tabel C.6.

Tabel C.6. Absorbansi larutan standar merah Kongo

[CR] (ppm)	Absorbansi
0	0
10	0,088
20	0,486
30	1,149
40	1,475
50	1,827
60	2,207



Gambar C.1. Kurva kalibrasi konsentrasi merah Kongo

Dari perhitungan menggunakan persamaan garis yang telah diperoleh, dapat diperoleh data pada Tabel C.8, Tabel C.9, dan Tabel C.10.

Tabel C.8. Rejeksi Membran Selulosa Asetat

CA (%)	A	C <sub>0</sub> (ppm)	C <sub>t</sub> (ppm)	Rejeksi (%)	Rejeksi rata-rata
12,5	0,011	50	4,19	91,62	90,70
	0,019	50	4,39	91,22	
	0,058	50	5,38	89,25	
15,0	0,023	50	4,49	91,02	90,73
	0,041	50	4,95	90,11	
	0,022	50	4,47	91,07	
17,5	0,012	50	4,21	91,58	91,08
	0,013	50	4,24	91,52	
	0,04	50	4,92	90,16	
20,0	0,016	50	4,32	91,37	91,18
	0,017	50	4,34	91,32	
	0,026	50	4,57	90,86	

Tabel C.9. Rejeksi Membran Selulosa Asetat/PEG

PEG (%)	A	C <sub>0</sub> (ppm)	C <sub>t</sub> (ppm)	Rejeksi (%)	Rejeksi rata-rata
1,0	0,02	50	4,42	91,17	91,22
	0,018	50	4,37	91,27	
	0,019	50	4,39	91,22	
2,0	0,018	50	4,37	91,27	91,25
	0,018	50	4,37	91,27	
	0,019	50	4,39	91,22	
2,5	0,052	50	5,22	89,55	88,62
	0,048	50	5,12	89,75	
	0,054	50	5,28	89,45	
3,0	0,09	50	6,18	87,63	89,58
	0,075	50	5,81	88,39	
	0,046	50	5,07	89,85	

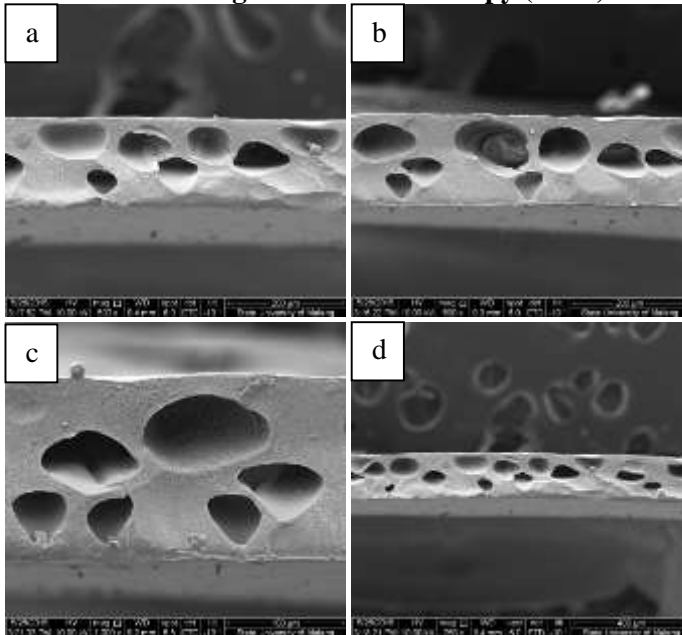
Tabel C.10. Rejeksi Membran CA/PEG-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (%)</b>	<b>A</b>	<b>C<sub>0</sub> (ppm)</b>	<b>C<sub>t</sub> (ppm)</b>	<b>Rejeksi (%)</b>	<b>Rejeksi rata-rata</b>
30	0,065	50	5,55	88,89	88,80
	0,064	50	5,53	88,94	
	0,072	50	5,73	88,54	
60	0,044	50	5,02	89,95	90,46
	0,029	50	4,64	90,71	
	0,029	50	4,64	90,71	
90	0,026	50	4,57	90,87	90,73
	0,028	50	4,62	90,76	
	0,032	50	4,72	90,56	
120	0,017	50	4,34	91,32	91,34
	0,016	50	4,32	91,37	
	0,017	50	4,34	91,32	

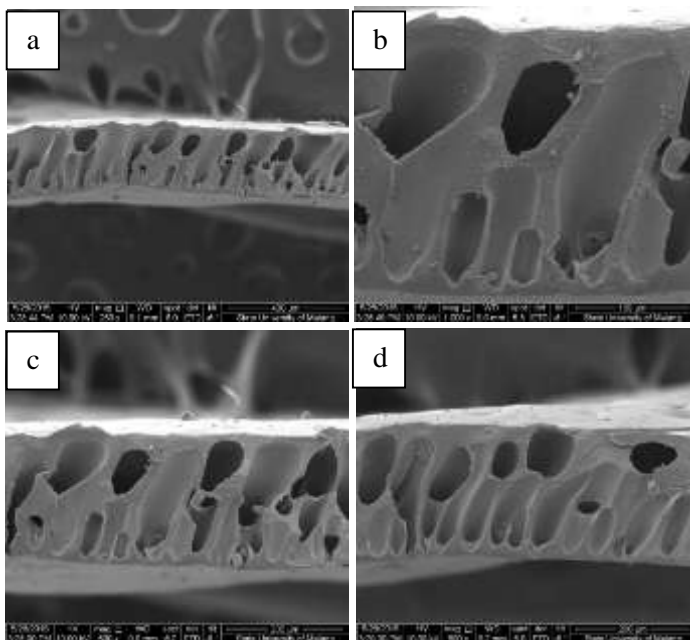
## Lampiran D

### Data dan Grafik Hasil Karakterisasi

#### D.1. Data Scanning Electron Microscopy (SEM)

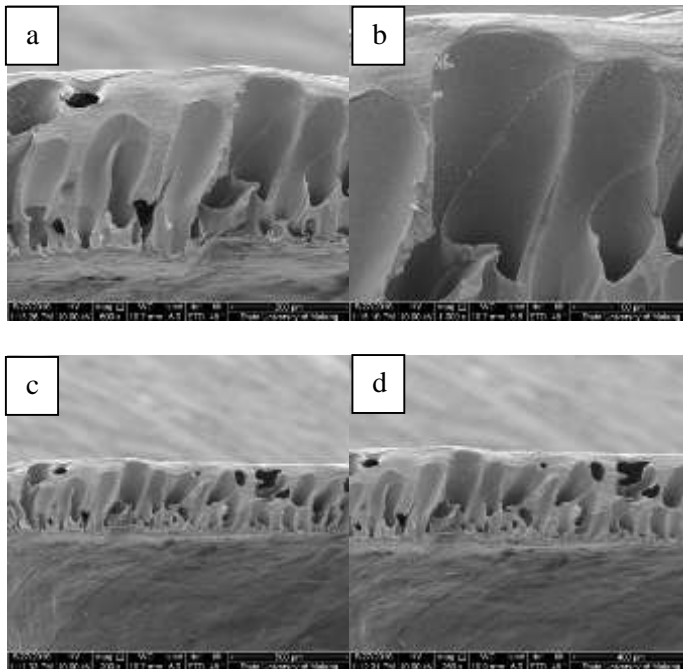


Gambar D.1. Mikrograf membran selulosa asetat 17,5% dengan perbesaran : (a dan b) 500 kali, (c) 1000 kali, (d) 250 kali.



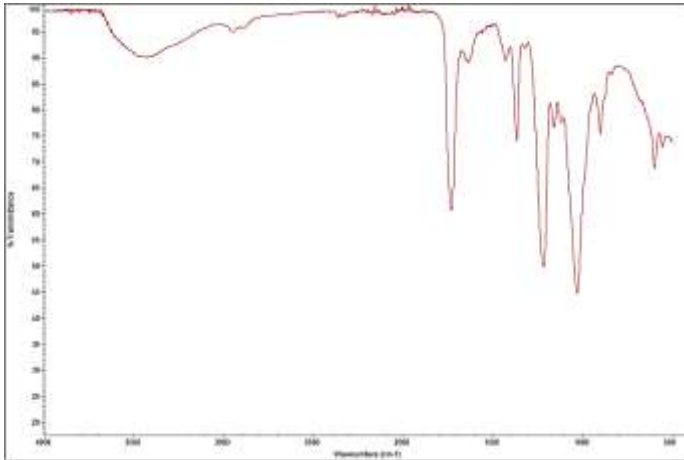
Gambar D.2. Mikrograf membran selulosa asetat 17,5% + PEG 2% dengan perbesaran : (a) 250 kali, (b) 1000 kali, (c dan d) 500 kali.



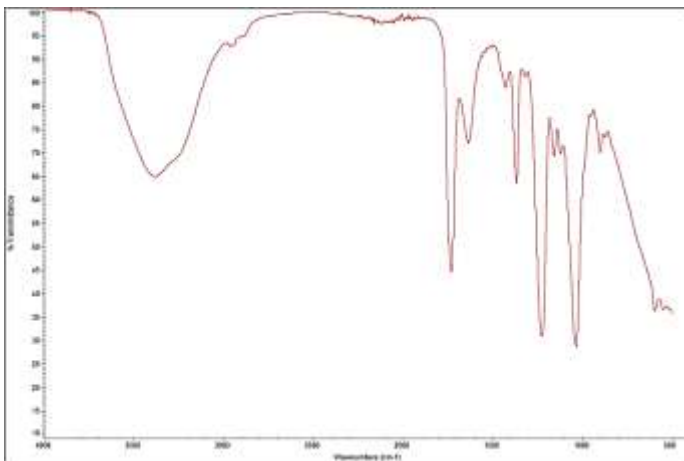


Gambar D.3. Mikrograf membran selulosa asetat 17,5% + PEG 2% + perendaman  $\text{H}_2\text{SO}_4$  120 menit dengan perbesaran : (a) 500 kali, (b) 1000 kali, (c) 200 kali, (d) 250 kali.

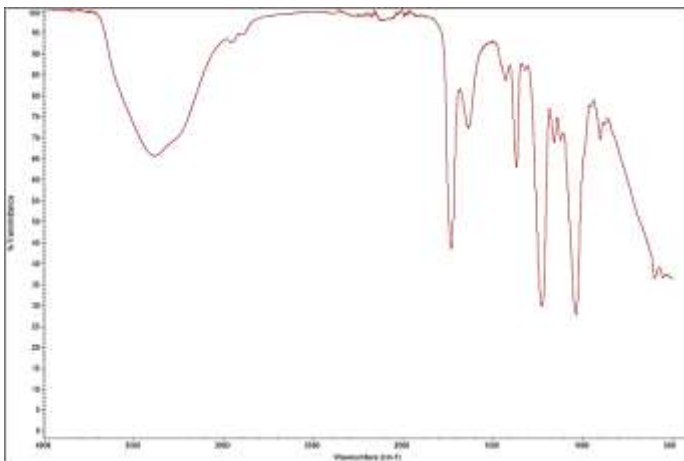
## D.2. Data Fourier Transform Infra Red (FTIR)



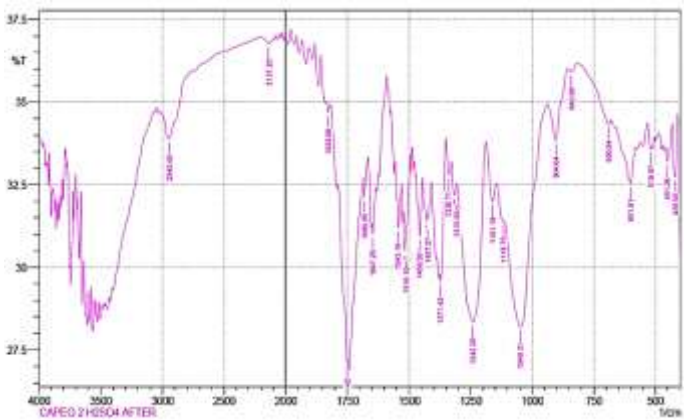
Gambar D.4. Spektra FTIR serbuk selulosa asetat



Gambar D.5. Spektra FTIR membran selulosa asetat



Gambar D.6. Spektra FTIR membran selulosa asetat/PEG



Gambar D.7. Spektra FTIR membran selulosa asetat/PEG-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

## BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Taqy Thianughra Fahezra Sampurna, lahir di Jember pada 24 Maret 1994, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharma Wanita Batu, SD Muhammadiyah 4 Batu, SMP Negeri 1 Batu, dan SMA Negeri 1 Batu. Penulis diterima di Jurusan Kimia FMIPA-ITS Surabaya melalui jalur SNMPTN tulis dan terdaftar dengan NRP 14 11

100 061. Selama masa kuliah S1, penulis aktif di organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMKA) ITS periode 2012/2013 dan 2013/2014. Selain itu penulis juga aktif sebagai pemandu Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa (LKMM) mulai tahun 2012. Pada tahun 2014, penulis juga mendapatkan dana Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) bidang Teknologi dari DIKTI. Penulis juga pernah mengikuti Kerja Praktek di *Joint Operating Body Pertamina-Petrochina East Java* (JOB-PPEJ) pada tahun 2014 dengan predikat Baik. Pada masa akhir studi, penulis melakukan penelitian mengenai peningkatan kinerja membran selulosa asetat dengan penambahan polietilen glikol dan sulfonasi untuk pemisahan pewarna tekstil merah Kongo. Penelitian yang dilakukan penulis di bawah bimbingan Ibu Nurul Widiastuti, M.Si, Ph.D, dan Bapak Lukman Atmaja, Ph.D.

Email : [taqythian@gmail.com](mailto:taqythian@gmail.com)

Mobile : 089677219307